MODÉLISATION DU RÉGIME HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE RWEGURA (BURUNDI): ÉVALUATION DE LA CONTRIBUTION DES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS.

Mémoire présenté

comme exigence partielle

du grade Maître ès Sciences (M.Sc.)

par

Édouard Cishahayo

Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau

2800, rue Einstein, Case Postal 7500, Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7

Septembre 1995

RÉSUMÉ

De nombreux modèles hydrologiques ont vu le jour au cours des vingt dernières années, surtout en regard de la relation pluie - débit. Dans les pays en voie de développement, la vulgarisation des outils informatiques n'est qu'à ses tous premiers débuts, et les techniques de modélisation ne sont que rarement évoquées. Dans les pays Africains, et dans les rares domaines où les techniques de modélisation commencent à prendre place, on se contente d'importer et d'adapter des modèles déjà existants et certainement conçus pour des milieux parfois bien différents.

La présente étude a porté sur la modélisation hydrologique du bassin versant de Rwegura, au Burundi, et a visé à introduire et mettre à la disposition des gestionnaires de projets et des hydrologues de ce pays, un outil puissant de modélisation et de bonne qualité d'application. Le bassin versant de Rwegura a retenu notre attention parce qu'un barrage hydro-électrique d'une importance capitale pour le pays y a été implanté en 1985 et pourvoit à plus de 80% de la production électrique intérieure du pays.

L'objectif principal de la présente étude a donc été de modéliser le comportement hydrologique du bassin versant de Rwegura (Burundi) et d'analyser particulièrement la contribution des écoulements souterrains au régime hydrologique de ce bassin versant. Après avoir présenté succintement au Chapitre 2 les principaux outils actuels de modélisation qui ont été appliqués dans la littérature pour l'évaluation des débits de ruissellement, nous présentons plus en détail au Chapitre 3 le modèle CÉQUEAU faisant l'objet de la présente étude sur le bassin versant du Rwegura (Burundi) présenté et décrit au Chapitre 4. Le Chapitre 5 présente et discute les résultats obtenus dans cette étude dont la conclusion est fournie au Chapitre 6.

Les résultats de l'étude montrent que la nappe d'eau souterraine contribue de façon significative (50% à 60%) au régime hydrologique de ce bassin versant. En outre, elle garantit un débit minimal

relativement important de 0.70 m³/sec durant les trois à quatre mois où les précipitations sont presque nulles puisque le débit d'étiage baisse peu pendant cette période-là. De même, on note que l'évapotranspiration sur ce bassin versant représente une proportion relativement importante (60% à 70%) du bilan hydrique. Les scénarios simulés avec des séquences de quatre années (1980 - 1983) de précipitations uniformément déficitaires montrent que ces déficits produisent une baisse du volume d'eau écoulé proportionnellement plus importante qui a tendance à s'amplifier au fur et à mesure des années. Les déficits d'écoulement sont plus accentués la première année que les années suivantes. La nappe d'eau souterraine s'épuiserait ainsi complètement après une séquence de deux ans (1980 - 1981) sans précipitation, la première année accusant un déficit d'écoulement de l'ordre de 70%, la seconde un déficit de l'ordre de 95%. Dans les autres cas, la nappe et donc le bassin versant mettrait plus de quatre années pour atteindre un nouvel état stationnaire d'écoulement.

REMERCIEMENTS.

Mes sincères remerciements vont à Messieurs Olivier Banton et Guy Morin qui ont bien voulu guider mon travail. Leurs encouragements, leur dévouement et tout leur support m'ont beaucoup aidé pour mener à bien ce travail.

Ma pensée va aussi à mes parents, à toute ma famille et à mes amis en ces durs moments de déchirement national et de désespoir.

Finalement, je remercie spécialement mon Amie, Béatrice, qui par son soutien moral et sa grande patience, a grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements i

Liste des figures vii

Liste des tableaux viii

CHAPITRE I: INTRODUCTION 1

CHAPITRE II: QUELQUES MODÈLES HYDROLOGIQUES DÉTERMINISTES 5

2.1. MODÈLE SSARR (Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation) 5

2.1.1. Processus à la surface du sol 6

2.1.2. Processus au-dessous du sol 6

2.1.3. Processus concernant les canaux d'écoulement 6

2.2. MODÈLE STANFORD IV 8

2.3. MODÈLE MODCOU 8

2.4. MODÈLE CREC 11

CHAPITRE III: MODÈLE HYDROLOGIQUE CEQUEAU 15

3.1. DÉFINITIONS 17

3.2. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES 18

3.2.1. Interpolation des températures 18

3.2.2. Interpolation des précipitations 19

3.3. FONCTION DE PRODUCTION 21

3.3.1. Évapotranspiration 22

3.3.2. Bilan du réservoir SOL 24

3.3.3. Bilan du réservoir NAPPE 27

3.4. FONCTION DE TRANSFERT 28

3.5. PRISE EN COMPTE DES BARRAGES....29
3.6. CALAGE DU MODÈLE....33

CHAPITRE IV: BASSIN VERSANT DE RWEGURA....37
4.1. PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT....37
4.1.1. Aspect physique....37
4.1.2. Aspect géologique....37
4.2. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROMÉTRIQUES....40
4.3. DONNÉES PHYSIOGRAPHIQUES....41
4.4. CALIBRATION DU MODÈLE....44

CHAPITRE V: RÉSULTATS ET DISCUSSION DES SIMULATIONS....47
5.1. RÉSULTATS....47
5.2. DISCUSSION....55

CHAPITRE VI: CONCLUSION....61

BIBLIOGRAPHIE....63

Annexe A: Précipitations journalières pour les années 1980-83....65

Annexe B: Lectures d'échelles (m) à la station hydrométrique de Rwegura pour les années 1980-83....67

Annexe C: Débits (m^3/sec) transformés à l'aide de l'équation de la courbe de tarage pour les années 1980-83....69

Annexe D: Températures maximales, minimales et moyennes....71

Annexe E: Valeurs des écoulements à travers les différents réservoirs Nappe, Sol et Lacs-Marais 76

Annexe F: Valeurs des écoulements cumulés à travers les réservoirs Nappe, Sol et Lacs-Marais 78

LISTES DES FIGURES

Figure 1 Exemple du tracé des carreaux entiers 16
Figure 2 Exemple du tracé des carreaux partiels 16
Figure 3 Schéma de production du modèle CEQUEAU 20
Figure 4 Schématisation de la fonction de TRANSFERT 29
Figure 5 Schéma de prise en compte des barrages 31
Figure 6 Localisation du bassin versant de Rwegura 38
Figure 7 Découpage bu bassin versant en carreaux entiers et carreaux partiels 42
Figure 8 Numéros de référence des carreaux entiers du bassin versant de Rwegura par le programme BVCEQ du modèle CEQUEAU 43
Figure 9 Hydrogramme des débits journaliers pour l'année 1980 48
Figure 10 Hydrogramme des débits journaliers pour l'année 1981 48
Figure 11 Hydrogramme des débits journaliers pour l'année 1982 49
Figure 12 Hydrogramme des débits journaliers pour l'année 1983 49
Figure 13 Histogramme des débits moyens mensuels pour la période 1980-82 50
Figure 14 Régression linéaire des débits moyens mensuels pour la période 1980-82 50
Figure 15 Histogramme des débits journaliers maximum mensuels pour 1980-82 51
Figure 16 Régression linéaire des débits journaliers maximum mensuels pour 1980-82 51
Figure 17 Fréquence des débits journaliers classés pour les années 1980-83 52
Figure 18 Écoulements cumulés pour les années 1980-83 52
Figure 19 Écoulements journaliers des réservoirs Nappe, Sol et Lacs-Marais 53
Figure 20 Écoulements cumulés des réservoirs Nappe, Sol et Lacs-Marais 53
Figure 21 Contributions relatives .des différents types d'écoulement 54
Figure 22 Importances relatives de l'évapotranspiration et de l'écoulement 54
Figure 23 Évolution de l'écoulement pour des précipitations déficitaires 58

Figure 24 Évapotranspiration et écoulement en rapport avec les précipitations.....59
Figure 25 Volume d'eau annuel moyen (%) en fonction du facteur de pondération F appliqué aux précipitations 59
Figure 26 Volume d'eau annuel moyen (%) pour quatre années de précipitations égales à celles de 1980 60

LISTE DES TABLEAUX.

Tableau 1: Paramètres et constantes utilisés par le modèle Cequeau.....23

Tableau 2: Paramètres du modèle du bassin versant de Rwegura.....45

Chapitre I: INTRODUCTION.

Ces trente dernières années ont connu un développement extraordinaire des moyens de calcul automatique avec des ordinateurs de plus en plus puissants et de plus en plus performants. Ces puissants outils informatiques, mis à la disposition des scientifiques, ingénieurs et hydrologues, ont permis de réaliser des progrès importants dans le domaine de la modélisation en général et de la modélisation hydrologique en particulier. De nombreux modèles hydrologiques ont vu le jour au cours de ces vingt dernières années, surtout ceux qui regardent la relation pluie - débit, offrant ainsi beaucoup de flexibilité dans la manipulation, beaucoup de gain en temps matériel, etc.

Néanmoins, le bilan de l'exploitation et de l'utilisation opérationnelles de ces modèles reste en deça des espoirs suscités par l'avènement de cette technique scientifique. En effet, la manipulation et l'utilisation d'un modèle par une personne autre que leur concepteur s'avère souvent être une tâche délicate, parfois pénible et dans bien des cas impossible.

Cela devient particulièrement vrai dans les pays en voie de développement, où la vulgarisation et outils informatiques, indispensables en modélisation, n'est qu'à ses tous premiers débuts, où les techniques de modélisation ne sont que rarement évoquées. Mêmes dans les pays Africains et dans les rares domaines où les techniques de modélisation commencent à prendre place, on se contente d'importer et d'adapter des modèles déjà existants et certainement conçus pour des milieux parfois bien différents, ce qui est quand même déjà beaucoup.

Ainsi, et dans ce contexte-là, nous avons entrepris cette présente étude pour introduire et mettre à la disposition des gestionnaires de projets et des hydrologues, un outil puissant de modélisation et de bonne qualité d'application.

La présente étude, porte sur la modélisation hydrologique du bassin versant de RWEGURA, au

BURUNDI, avec un regard particulier sur les écoulements souterrains et leur contribution au régime hydrologique de ce bassin versant.

Le bassin versant de Rwegura a retenu notre attention parce qu'un barrage hydro-électrique d'une importance capitale pour le pays y a été implanté en 1985. Ce barrage pourvoit à plus de 80% de la production électrique intérieure du pays, une certaine quantité d'électricité continuant à être importée du Zaïre voisin.

Outre la compréhension de l'interaction des divers processus auxquels est soumise l'eau du moment où elle tombe sur un bassin versant, jusqu'au moment où elle passe à l'exutoire, le modèle, nous permet de simuler différents scénarios, comme par exemple:

-le rôle des écoulements souterrains
-l'évaluation des impacts de la déforestation ou du reboisement
-l'évaluation des impacts des changements de l'usage de l'eau (irrigation,...)
-l'évaluation des impacts de l'implantation d'ouvrages artificiels (retenues collinaires, barrages, etc.).
-l'évaluation des impacts des passages de périodes sèches.

La compréhension du régime hydrologique d'un bassin versant est assez difficile du fait, d'une part, de la nature des écoulements superficiels et souterrains, rendus complexes par la variabilité surtout spatiale des caractéristiques hydro-géo-physiques des sols, et d'autre part, du fait de la variabilité spatiale et temporelle des conditions météorologiques, en particulier des précipitations.
Les modèles mathématiques de simulation hydrologique contribuent grandement à cette compréhension et mènent donc à des études de plus en plus précises du comportement hydrologique des bassins versants. Ces modèles intègrent les multiples composantes de l'écoulement et prennent en compte les changements, naturels ou artificiels, appliqués au bassin versant, et permettent de simuler différentes situations comme l'impact de la déforestation ou du reboisement, les changements dans l'usage de l'eau comme dans les grands projets d'irrigation, l'implantation des barrages hydroélectriques, etc. Ils permettent également d'étudier le rôle et la contribution des

écoulements souterrains et superficiels au régime hydrologique d'un bassin versant. La connaissance de la contribution relative de l'écoulement de la nappe souterraine au régime hydrologique d'un bassin versant peut s'avérer être une information de taille dans l'étude et l'élaboration des différents projets faisant intervenir la nature du régime hydrologique du bassin versant.

L'objectif principal de la présente étude est de modéliser le comportement hydrologique du bassin versant de Rwegura (Burundi) et d'analyser particulièrement la contribution des écoulements souterrains au régime hydrologique de ce bassin versant.

Dans l'avenir, compte tenu des besoins et sollicitations réels ou potentiels des futurs utilisateurs, aménageurs ou gestionnaires de projets, d'autres aspects de la problématique de gestion de l'eau sur ce bassin versant pourront être abordés.

Après avoir présenté succintement au Chapitre 2 les principaux outils actuels de modélisation qui ont été appliqués dans la littérature pour l'évaluation des débits de ruissellement, nous présentons plus en détail au Chapitre 3 le modèle CÉQUEAU faisant l'objet de la présente étude sur le bassin versant du Rwegura (Burundi) présenté au Chapitre 4. Le Chapitre 5 présente et discute les résultats obtenus dans cette étude dont la conclusion est fournie au Chapitre 6.

Chapitre II: QUELQUES MODÈLES HYDROLOGIQUES DÉTERMINISTES.

La plupart des modèles mathématiques conceptuels en hydrologie étudient les processus de transformation des précipitations (liquides ou solides) en ruissellement. Ils essaient de représenter le mieux possible le cheminement de l'eau atmosphérique du moment où elle atteint la surface du sol jusqu'au moment où elle arrive à l'exutoire. Pendant ce parcours, l'eau est soumise à divers processus assez complexes, mais qui peuvent toujours être représentés par des équations mathématiques plus ou moins simplifiées. Ainsi l'objectif premier de tout modèle hydrologique est d'équilibrer harmonieusement les simplifications adoptées et la performance voulue. Nous présenterons dans les sections suivantes différents exemples de modèles tels SSARR, STANFORD IV, MODCOU, CREC et GR2 choisis en raison du grand nombre d'applications dont ils ont fait l'objet et de la littérature disponible à leur égard.

2.1. MODÈLE SSARR (STREAMFLOW SYNTHESIS AND RESERVOIR REGULATION)

Le modèle SSARR a été développé par la "US Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon". Il fut au départ développé pour résoudre des problèmes de laminage de crues. C'est en 1964 qu'une version fut présentée par Rockwood, dont les possibilités étaient la gestion en temps réel des systèmes complexes de réservoirs, la planification hydrique régionale ainsi que la prévision des crues.

Les données d'entrée du modèle sont :

- Précipitations journalières (pluie et neige)
- Températures de l'air
- Ensoleillement
- Évolution de la hauteur du manteau nival
- Débits journaliers pour la calibration.

La calibration du modèle se fait par optimisation des paramètres.

Les différents processus pris en compte par le modèle peuvent être classés en trois parties (Llamas, 1985):

2.1.1. Processus à la surface du sol.

Les ruissellements superficiels et souterrains sont analysés à l'aide des relations empiriques, sous forme de tableaux ou de graphiques, reliant entre eux l'indice d'humidité et le ruissellement. Le laminage superficiel est analysé à l'aide des données historiques. Le taux d'infiltration n'est pas calculé directement mais plutôt au moyen d'indices qui tiennent compte des caractéristiques physiques du bassin versant étudié.

2.1.2. Processus au-dessous du sol.

L'évapotranspiration est calculée à l'aide de la formule de Penman. La valeur obtenue est utilisée directement pour réduire l'emmagasinement de l'humidité du sol. L'emmagasinement sous forme d'humidité du sol est calculée à l'aide du bilan hydrique du sol. L'emmagasinement et le ruissellement souterrains sont évalués à l'aide des indices d'infiltration. Quant au laminage souterrain, il est calculé d'après les données historiques disponibles.

2.1.3. Processus concernant les canaux d'écoulement.

Tenant compte de la configuration du bassin versant, les canaux principaux et secondaires sont subdivisés en tronçons ayant des caractéristiques d'écoulement le plus homogènes possible.

Quant au laminage à travers les réservoirs et les canaux d'écoulement, le modèle utilise la méthode de Muskingum et l'équation de continuité (1). L'équation de continuité est formulée dans le cas d'une augmentation brusque du débit entre deux sections S1 et S2, de surfaces A1 et A2, avec débits et vitesses Q1, V1 et Q2, V2, donnant la vitesse d'onde U telle que:

$$U(A_2 - A_1) = A_2 * V_2 - A_1 * V_1 \qquad (1)$$

$$U = \frac{A_1 * V_1 - A_2 * V_2}{A_1 - A_2} = \frac{Q_1 - Q_2}{A_1 - A_2} = \frac{dQ}{dA} \qquad (2)$$

On remarque que la vitesse de l'onde est définie par le rapport entre la variation du débit et la variation de la section. De même, pour des sections assez régulières, on a:

A = b * h et donc dA = b * dh

d'où :

$$U = \frac{1}{b} * \frac{dQ}{dh} \qquad (3)$$

avec

b : largeur moyenne du cours d'eau sur une section donnée

h : profondeur moyenne du cours d'eau sur cette section

D'après la relation de Chézy, pour des cours d'eau larges , on a :

$$V = C\sqrt{hi} \qquad (4)$$

et

$$Q = AV = bCh^{3/2} i^{3/2} \qquad (5)$$

i étant la pente de la ligne d'énergie en écoulement uniforme

C un coefficient

En dérivant l'équation (5) par rapport à h , on arrive à :

$$\frac{dQ}{dh} = \frac{3}{2} bCh^{1/2} i^{1/2} = \frac{3}{2} bV \qquad (6)$$

d'où finalement :

$$U = \frac{3}{2} V \qquad (7)$$

montrant que la vitesse de l'onde est plus grande que la vitesse de l'eau.

2.2. MODÈLE DE STANFORD IV.

Le modèle STANFORD IV a été développé à l'Université de Stanford (É-U) par Crawford et Linsley. Le principe de base du modèle est d'assimiler le système physique du bassin versant à une série de réservoirs dont le remplissage et la vidange, traduits par des relations analytiques, constituent des étapes dans l'évolution des différentes composantes du cycle hydrologique, permettant de simuler le débit à l'exutoire du bassin versant dont les caractéristiques physiques du sol et du sous-sol sont connues ou estimées. Le modèle se base également sur l'idée que les différentes parties du sol se comportent comme des réservoirs qui se remplissent suivant une loi conditionnée par la partie en amont du système, et se vident suivant une loi qui dépend, d'une part de leur propre constitution ainsi que de leur niveau de remplissage et d'autre part par l'état (caractéristiques physiques, remplissage) des réserves en aval (Llamas, 1985).

2.3. LE MODÈLE MODCOU.

Le modèle couplé, MODCOU, est un modèle hydrologique pluies-ruissellement qui est qualifié de modèle conceptuel déterministe distribué, (Ledoux, 1980; Girard et al., 1981). Il est obtenu par couplage entre le modèle hydrologique CEQUEAU (sa partie superficielle), développé à l'Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-EAU) du Québec et un modèle hydrogéologique multicouche, NEWSAM, développé par le Centre d'Informatique Géologique de l'École des Mines

de Paris. Le modèle MODCOU a été réalisé avec le souci de parvenir à une représentation aussi près que possible des processus d'un système hydrologique. Il distingue, d'une part une couche supérieure dite de surface où s'effectue le partage de l'eau disponible en ruissellement et infiltration, ainsi que le transfert superficiel; d'autre part un nombre variable de couches profondes, où se passent les écoulements souterrains, éventuellement connectées entre elles, reproduisant ainsi la succession verticale des niveaux aquifères tel que cela se rencontre souvent sur des bassins versants.

La discrétisation spatiale s'effectue à l'aide des mailles carrées régulières (chacune des mailles pouvant être redivisée à nouveau en 4 ou 16) dont la taille dépend de l'échelle du domaine, de la connaissance du milieu étudié et de la variabilité des paramètres qui entrent en jeu dans le fonctionnement hydrologique local, le souci permanent étant de subdiviser le domaine en éléments auxquels sont rattachés, de la manière la plus homogène possible, les caractéristiques physiques aussi bien superficielles que souterraines du milieu.

Selon la discrétisation, le réseau de drainage superficiel revêt la forme d'une ou plusieurs arborescences qui sont définies dans la mesure du possible par la connaissance, pour chaque maille de la surface, d'une direction unique de vidange. Ce réseau de drainage est ensuite classé en deux catégories selon qu'il s'agit d'une maille appartenant au réseau hydrographique principal ou bien à la zone de ruissellement pur. Les mailles appartenant au réseau hydrographique principal sur lesquelles ont lieu les échanges dans les deux sens avec le souterrain sont appelées des mailles-rivières. Cette subdivision en deux types de mode de drainage est surtout motivée par un souci d'allégement des calculs, en n'utilisant les possibilités du modèle qu'aux endroits où cela est réellement nécessaire. Par exemple, un problème où l'on s'intéresse uniquement aux écoulements souterrains, déconnectés du réseau hydrographique, ne comporterait ainsi pas de mailles-rivières, seul le calcul de l'infiltration étant requis. Par contre, un échange nappe-rivière est possible en affectant l'ensemble du réseau de drainage à des mailles rivières.

Les données physiographiques introduites sur chaque maille concernent :
- la nature des sols présents sur chaque maille, exprimée en fraction de superficie occupée par catégorie de sol; la distinction en catégorie de sols repose sur la manière dont doit être effectué le

bilan hydrique.

- l'altitude minimale du réseau de drainage, utilisée ultérieurement pour le calcul des temps de transfert.

Pour représenter le mieux possible le cycle de l'eau, le modèle MODCOU est constitué de cinq fonctions principales, interconnectées:

- La fonction d'entrée qui s'occupe de l'apport pluviométrique avec un découpage selon un pas de temps qui doit être compatible avec le problème posé.
- La fonction de production dont le rôle consiste à répartir à chaque pas de temps et pour chaque zone de production la donnée d'entrée entre l'évapotranspiration, le ruissellement de surface, l'infiltration vers le souterrain ainsi qu'une réserve à stocker dans le sol et qui viendra compléter la donnée d'entrée pour le pas de temps suivant.
- La fonction de transfert de surface qui définit les temps de parcours de l'eau dans le réseau hydrographique.
- La fonction de transfert souterrain qui définit les pas de transfert dans les zones non-saturée et saturée et contrôle les niveaux piézométriques. La quantité d'eau introduite dans le système est déterminée au moyens des fonctions de productions. Des études portant sur la relation à l'échelle régionale entre l'infiltration dans le sol et l'alimentation des nappes souterraines ont montré que la fonction de transfert dans la zone non-saturée pouvait être approximée de façon satisfaisante par le modèle à réservoirs en cascade de Nash. Ce type de modèle dépend uniquement de deux paramètres: le nombre N de réservoirs reflétant l'épaisseur de la zone non-saturée, supposée décomposée en N couches horizontales homogènes; et la constante de temps de vidange de ces réservoirs caractérisant la vitesse de percolation verticale de l'eau. Ces deux paramètres sont précisés au moment de la calibration du modèle.
- La fonction d'échange surface-souterrain qui se charge de redistribuer le stock du souterrain en fonction des contraintes naturelles de drainage, mais aussi en fonction d'interventions extérieures comme l'implantation de puits de pompage. Elle règle au niveau du réseau hydrographique principal la liaison entre le transfert souterrain et le transfert superficiel. Le couplage s'effectue à chaque pas de temps entre une maille rivière et les mailles des couches souterraines qui lui correspondent verticalement.

Quant à son organisation générale, le modèle MODCOU est un programme écrit en FORTRAN qui offre une présentation modulaire assez souple permettant une adaptation pour des problèmes bien spécifiques. Il est subdivisé en cinq étapes qui s'effectuent séquentiellement.

Etape 1: GEOCOU.
Cette étape se charge de la définition des caractéristiques physiques des aquifères et des caractéristiques physiographiques du domaine étudié.
Etape 2: MODSUR.
Elle est centrée sur la modélisation des phénomènes superficiels et assure essentiellement les fonctions d'entrée, de production et de transfert de surface.
Etape 3: NONSAT.
Elle modélise l'infiltration à travers la zone non-saturée pour l'alimentation de la nappe souterraine.
Etape 4: MODCOU
Elle modélise finalement le devenir de l'eau qui est disponible simultanément à travers le niveau de surface et le niveau souterrain en tenant compte des interactions possibles entre ces deux niveaux.
Etape 5: COMPAR
Elle permet enfin une comparaison graphique entre les débits calculés et observés en n'importe quel point du réseau hydrographique, ou avec les données d'observation des piézomètres en un point quelconque du domaine souterrain étudié.

2.4. MODÈLE CREC.

CREC est un modèle global conceptuel déterministe qui a été mis au point au Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de l'Université des Sciences de Montpellier au début des années 1970 (Servat et Dezetter, 1985). Son organisation principale est conçue sur base de deux fonctions principales : la fonction de Production et la fonction de Transfert.

La fonction de production du modèle CREC tient essentiellement compte de l'humidité du sol, par le biais du taux de remplissage d'un réservoir alimentant l'évapotranspiration et fournit la fraction de la précipitation qui va participer à l'écoulement. La fonction de production effectue un

prélèvement sur la lame d'eau précipitée. Son élément fondamental est l'évapotranspiration. Cette fonction est représentée par un réservoir qui est soumis à un contrôle en amont par le partage de la précipitation et à une sortie en aval modulée sur l'évapotranspiration potentielle, qui génère une évapotranspiration réelle.

La fonction de transfert, quant à elle comprend essentiellement un écoulement rapide et un écoulement lent à décroissance exponentielle. Elle est constituée d'un ensemble de deux réservoirs montés en série et en parallèle grâce à la double sortie du réservoir supérieur. Ce dernier intervient à deux niveaux :
-au laminage des débits permettant de rendre continue la réponse à une alimentation discontinue.
-à la répartition entre le débit à décroissance rapide et le débit à décroissance lente. L'écoulement rapide est régularisée par l'équation, tandis que l'écoulement lent est régularisé par le biais d'un tarissement exponentiel, ce rôle étant révolu au réservoir inférieur.

Pour le modèle CREC, la détermination des valeurs des paramètres s'effectue automatiquement à l'aide d'une procédure d'optimisation non-linéaire minimisant un critère d'écart entre débits observés et calculés. La méthode d'optimisation qui est utilisée est la méthode de Rosenbrock (1960).
L'organisation informatique du logiciel est de type modulaire. On y distingue trois modules. Le premier module (module Entrées) a pour rôle de lire et de stocker en mémoire les données et les paramètres définissant un état de fonctionnement du modèle. Il comprend un fichier Débits, un fichier Pluies, un fichier Évaporation, et un fichier Paramètres. Le second module (module Calculs) effectue les calculs proprement-dits, tandis que le module Sorties fournit sous forme de tableaux les lames calculées et observées, sur une base journalière, mensuelle et annuelle. Un environnement graphique a été également développé afin de permettre le tracé des séries chronologiques des débits calculés et observés, ce qui rend plus aisée la phase de calage. Ce modèle a été appliqué avec succès à plusieurs bassins versants en Afrique, notamment au Burkina Faso et en Tunisie.

Une approche beaucoup plus simplificatrice a été appliquée au modèle CREC par des Ingénieurs de la Section Hydrologie-Hydraulique de CEMAGREF à Antony-France, créant un modèle nommé GR2 (Michel et Mailhol, 1985). Beaucoup de paramètres, qui à leurs yeux ne semblaient présenter

aucun intérêt primordial propre, ont été rejetés. Ils n'en ont retenu que deux. De conception fort simplifiée, le modèle se compose uniquement de deux réservoirs. Le premier réservoir gère la fonction de production et dépend d'un seul paramètre, le second réservoir gère la fonction de transfert et dépend également d'un seul paramètre. Le bilan est calculé par une fonction de stocakge, une fonction d'évaporation et une fonction de ruissellement. Des améliorations ont été effectuées, en essayant de tenir compte de la variabilité du bassin versant en considérant celui-ci comme une juxtaposition de réservoirs-sol dont le paramètre est tiré d'une distribution systématique à un seul paramètre, en utilisant des fonction de pondération locale sous la forme de distributions triangulaires isocèles.

Une discrétisation avec seulement trois réservoirs-sol s'est avérée suffisante pour apporter une amélioration sensible sans pour autant compliquer les calculs. Chaque réservoir-sol représente alors un tiers du bassin versant et les poids de ces trois réservoirs sont respectivement 0.64, 1 et 1.36.

Chapitre III: MODÈLE HYDROLOGIQUE CEQUEAU.

Le modèle hydrologique CEQUEAU est un modèle déterministe matriciel, développé à l'Institut National de la Recherche Scientifique-INRS-Eau, au début des années 70 (Morin et al., 1981). Il prend en compte les caractéristiques physiques du bassin versant ainsi que leur variabilité dans le temps et dans l'espace. Il est découpé en éléments appelés carreaux entiers sur lesquels la production hydrologique est calculée (figure 1). Un deuxième découpage, en fonction de la ligne de partage des eaux, donnant des éléments appelés carreaux partiels (figure 2) est requis pour reproduire le cheminement de l'eau en rivière.

La discrétisation spatiale du bassin versant en carreaux entiers et en carreaux partiels permet au modèle CEQUEAU de:

- suivre l'évolution spatio-temporelle des écoulements (calculer les débits aussi bien aux points de jaugeage qu'en n'importe quel autre point sur le bassin versant).
- prévoir l'effet de toute modification physique du bassin versant (barrage, retenues collinaires, etc.).

Le modèle permet d'estimer les composantes du cycle hydrologique, précipitations liquide et solides, évaporation, infiltration, écoulement superficiel, hypodermique et de base, ainsi que le volume d'eau transitant en rivière à chaque pas de temps et sur chaque élément du bassin versant.

Figure 1: Exemple du tracé des carreaux entiers.

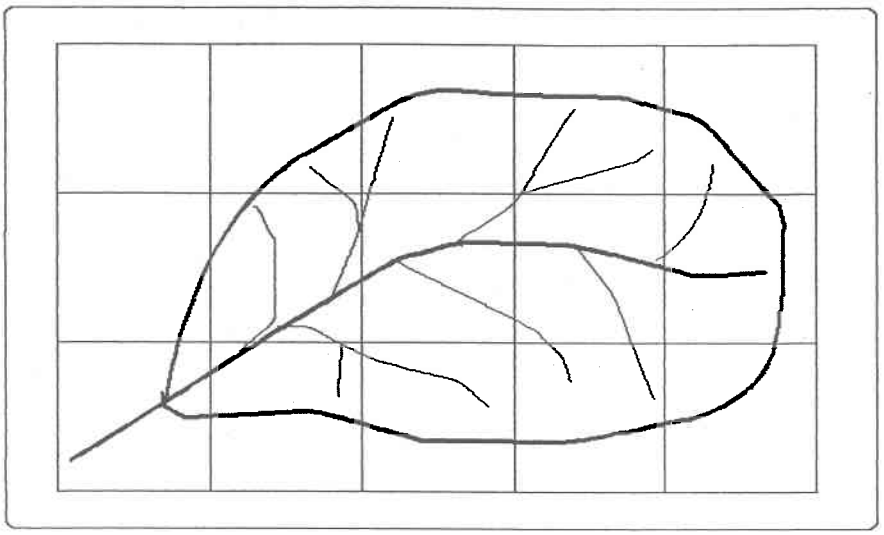
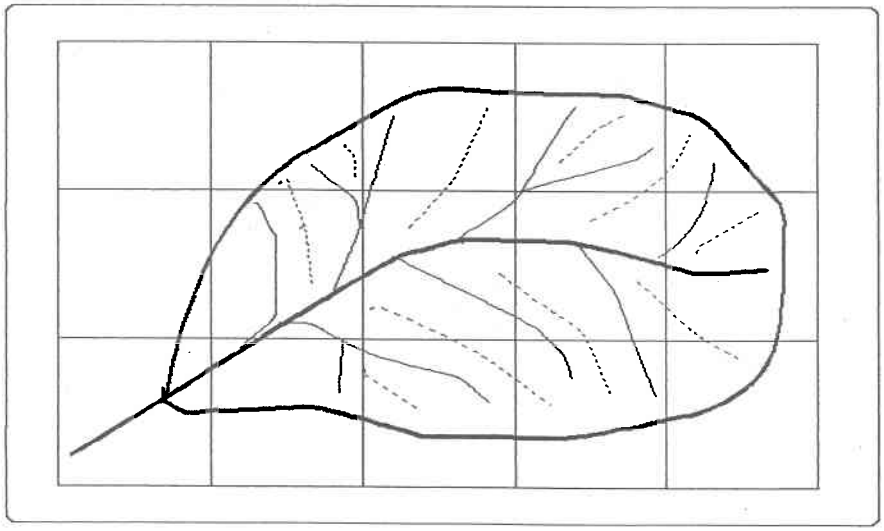


Figure 2: Exemple du tracé des carreaux partiels.



3.1. DÉFINITIONS:

- carreau entier:

Le bassin versant est subdivisé en surfaces élémentaires carrées dont la dimension varie suivant la grandeur et les caractéristiques physiographiques (topographie, etc.) du bassin versant lui-même (figure 1).

- carreau partiel:

Sur chaque carreau entier, on trace toutes les lignes de partage des eaux. Ainsi, on obtient différents compartiments sur un même carreau entier que l'on nomme carreaux partiels (figure 2). On doit cependant souligner que le modèle CEQUEAU n'admet qu'au plus quatre carreaux partiels sur un seul carreau entier.

Le modèle comporte deux fonctions principales visant à décrire le mieux possible l'écoulement de l'eau vers l'exutoire d'un bassin versant:

- La fonction de PRODUCTION
- La fonction de TRANSFERT

- fonction de PRODUCTION:

Elle concerne l'écoulement " vertical " de l'eau, dont les principaux phénomènes sont:

. les précipitations
. la fonte de neige
. l'évapotranspiration
. l'infiltration
. le jeu des réserves superficielles et profondes.

La fonction de PRODUCTION est calculée sur chaque carreau entier et au pas de temps journalier.

- fonction de TRANSFERT:

Elle concerne le transfert " horizontal " de l'écoulement dans le réseau de drainage. Les processus compris dans cette partie tiennent compte également de l'influence des lacs, des marécages et des ouvrages artificiels tels que les barrages, les détournements, etc. La fonction de TRANSFERT s'effectue à partir des carreaux partiels.

3.2. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES.

Les données météorologiques suivantes doivent être disponibles sur une base journalière :

- les précipitations liquides et solides
- les températures maximales de l'air
- les températures minimales de l'air

Le modèle utilise la température moyenne de l'air sur chaque carreau entier pour évaluer l'évapotranspiration, la nature solide ou liquide de la précipitation et la fonte de neige. En tenant compte des stations météorologiques existant sur le bassin versant en question, les données doivent alors être interpolées pour en estimer la valeur sur chaque carreau entier.

3.2.1. Interpolation des températures.

Pour les températures journalières, trois options sont offertes :

- par régression
- par polygones de Thiessen
- par pondération

Pour la méthode par régression, il s'agit d'établir, sur une base journalière, une relation linéaire entre la température moyenne de l'air à chaque station météorologique et l'altitude de cette même station. Une fois la relation établie, la température moyenne sur un carreau entier est alors déduite à partir de son altitude moyenne. Toutefois, pour que la relation ainsi établie entre température moyenne et altitude aux stations météorologiques soit significative, il faut que ces dernières soient en nombre suffisant sur le bassin versant étudié.

La méthode des polygones de Thiessen consiste à affecter à chaque carreau entier la station météorologique la plus proche. On construit autour de chaque station un polygone qui constitue en fait un lieu géométrique délimitant les points qui sont plus proches de la station considérée que de toute autre station voisine. La température sur un carreau entier est alors égale à la température lue à la station qui lui a été affectée. Cette température doit être corrigée d'un facteur qui dépend du gradient thermique et de la dénivelée existant entre la station et ce carreau.

Dans la méthode par pondération, la température moyenne d'un carreau entier est calculée à l'aide des températures maximales et minimales des trois stations météorologiques les plus proches, affectées d'un facteur de pondération qui dépend des distances entre le carreau entier et les stations. Les facteurs de pondération sont calculés de la façon suivante:

$$M = \frac{1}{\frac{1}{D1} + \frac{1}{D2} + \frac{1}{D3}} \qquad (8)$$

$$F1 = \frac{M}{D1} \; ; \; F2 = \frac{M}{D2} \; ; \; F3 = \frac{M}{D3} \qquad (9)$$

D1, D2, D3 : Distances entre le carreau entier et les stations
F1, F2, F3 : Facteurs de pondérations affectés aux trois stations les plus proches.
M : une variable intermédiaire.

Les températures sont ensuite corrigées d'une valeur qui dépend du gradient thermique suivant la dénivelée entre le carreau entier et la moyenne d'altitude des trois stations utilisées.

3.2.2. Interpolation des précipitations.

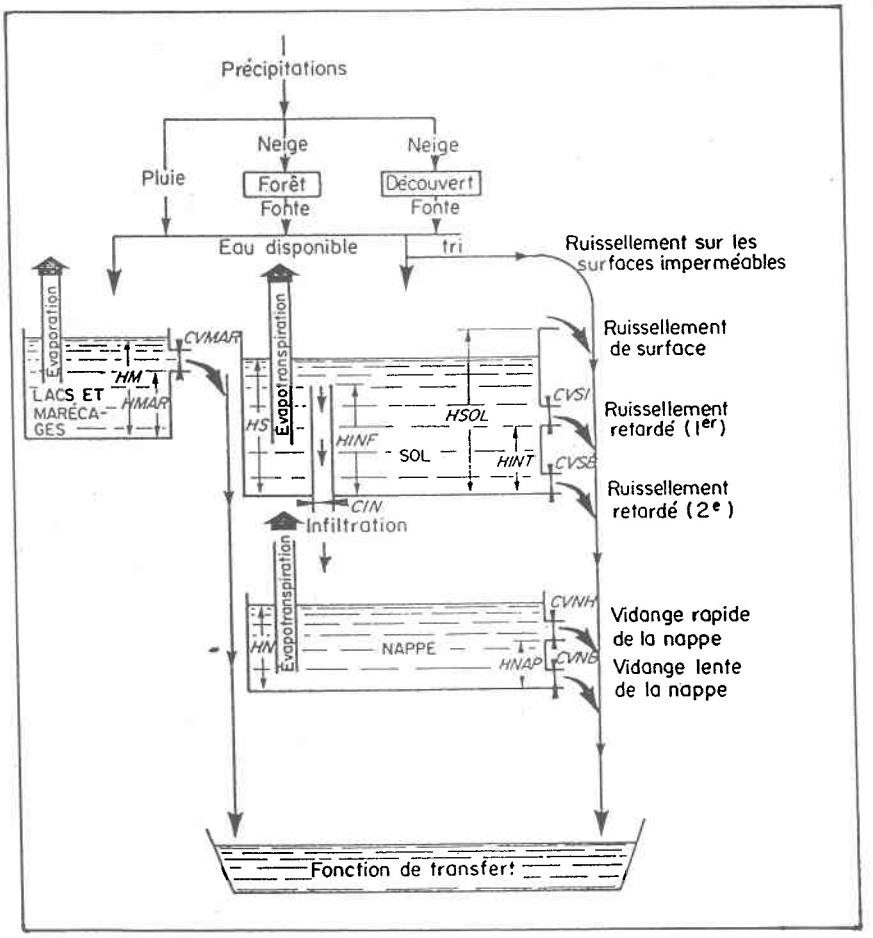
Pour évaluer les précipitations journalières sur chaque carreau entier à partir des précipitations

mesurées aux stations météorologiques, deux options sont offertes (telles que décrites précédemment):

- par polygones de Thiessen
- par pondération

Figure 3: Schéma de production du modèle CEQUEAU.

Tiré de: Manuel d'utilisation du modèle CEQUEAU. Morin et al. 1981.



3.3. FONCTION DE PRODUCTION.

Les divers processus auxquels sera soumise l'eau atmosphérique entrant dans un carreau entier, sont schématisés par la représentation du sol sous forme de réservoirs (figure 3) communiquant entre eux à l'aide de relations mathématiques reproduisant, à l'échelle journalière, les différents transferts de masse des différentes composantes du bilan hydrologique:

- formation et fonte du stock de neige
- évaporation et évapotranspiration
- eau dans la zone non-saturée
- eau dans la zone saturée
- eau dans les lacs et marais

Le tableau 1 présente la liste des paramètres et constantes utilisés par le modèle CEQUEAU. Ils sont donnés suivant les différentes parties du cycle hydrologique dans lesquelles ils interviennent.
La distinction est faite entre une constante déterminée à l'aide des caractéristiques physiographiques et hydrologiques du bassin versant étudié (c), (exemple: temps de concentration du bassin, etc.), et un paramètre déterminé, soit uniquement par essai et erreur (a), soit en relation avec la physique du phénomène (b). Dans ce dernier cas, des études extérieures au modèle peuvent être parfois nécessaires (exemple: paramètres de fonte de neige).

La première étape de la fonction production dans le modèle CEQUEAU consiste à évaluer la hauteur d'eau disponible, au niveau du sol, sur chaque carreau entier. L'eau arrive à la surface du sol de deux façons : l'eau de pluie et l'eau provenant de la fonte de neige.
L'eau de pluie disponible sur chaque carreau entier est évaluée à l'aide de l'une des méthodes d'interpolation, expliquées précédemment, en fonction des précipitations liquides lues aux stations météorologiques de la région. La fonte de neige est estimée sur chaque "carreau entier", séparé en deux parties, une zone de forêt et une zone de clairière. Les calculs de fonte de neige sont faits en utilisant la méthode des degrés-jours et tiennent compte des deux phénomènes principaux de mûrissement et de réchauffement du manteau nival qui gèrent la période de disponibilité de l'eau

provenant de la fonte. La lame totale d'eau disponible au niveau du sol est alors obtenue en additionnant la précipitation liquide et la quantité provenant de la fonte de neige. Cette lame d'eau est ajoutée au contenu antérieur du réservoir SOL. Ensuite, c'est à partir du niveau d'eau dans le réservoir SOL que sont évalués l'évapotranspiration, l'infiltration vers le réservoir NAPPE, le ruissellement de surface ainsi que le ruissellement hypodermique.

Les écoulements de surface, ceux hypodermiques et l'infiltration vers le réservoir NAPPE sont déterminés en fonction de la lame d'eau disponible dans le réservoir SOL, des hauteurs des différents orifices ainsi que des coefficients de vidange propres à chaque orifice. Ainsi, le ruissellement de surface a lieu si la hauteur d'eau disponible dans le réservoir SOL (HS) est supérieure à la hauteur du réservoir SOL (HSOL). Dans ce cas, toute la lame d'eau au-dessus du seuil de ruissellement (HSOL) ruisselle et devient disponible pour l'écoulement en rivière. L'infiltration vers le réservoir NAPPE a lieu si la hauteur d'eau dans le réservoir SOL dépasse le seuil d'infiltration (HINF). De même, les écoulements issus du réservoir NAPPE (vidange rapide et vidange lente) sont fonction du niveau d'eau dans ce réservoir, des coefficients de vidange et de la hauteur de chaque orifice. Quant au bilan en eau sur la partie eau libre (lacs, marécages), il s'évalue à l'aide du réservoir LACS ET MARÉCAGES. Les écoulements issus de ce réservoir dépendent du niveau d'eau, de la hauteur de l'orifice, du coefficient de vidange, des apports dûs aux précipitations et à la fonte de neige ainsi que de l'évaporation.

3.3.1. Évapotranspiration.

Son évaluation est basée sur la méthode de THORNTHWAITE modifiée pour l'estimation journalière:

$$ETP = 0.533 * \left(\frac{10 * T_{je}}{XIT} \right)^{XAA} \qquad (10)$$

Tableau 1 : Paramètres et constantes utilisés par le modèle CEQUEAU.

Tiré de: Manuel d'utilisation du modèle CEQUEAU. Morin et al, 1981.

Douze paramètres de réservoirs SOL-NAPPE-MARAIS :		
CIN	(a)	coefficient d'infiltration du réservoir SOL au réservoir NAPPE
CVMAR	(a)	coefficient de vidange du réservoir LACS et MARAIS
CVNB	(a)	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange basse)
CVNH	(a)	coefficient de vidange du réservoir NAPPE (vidange haute)
CVSB	(a)	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange basse)
CVSI	(a)	coefficient de vidange du réservoir SOL (vidange intermédiaire)
HINF	(a)	seuil d'infiltration vers le réservoir NAPPE
HINT	(a)	seuil de vidange intermédiaire du réservoir SOL
HMAR	(a)	seuil de vidange du réservoir LACS et MARAIS
HNAP	(a)	seuil de vidange haute du réservoir NAPPE
HRIMP	(a)	hauteur des précipitations pour qu'il y ait ruissellement sur des surfaces imperméables
HSOL	(a)	hauteur du réservoir SOL
Sept paramètres régissant la fonte des neiges :		
STRNE	(b)	seuil de transformation pluie-neige
TFC	(b)	taux de fonte en forêt
TFD	(b)	taux de fonte en clairière
TSC	(b)	seuil de température de fonte en forêt
TSD	(b)	seuil de température de fonte en clairière
TTD	(b)	coefficient de déficit calorifique de la neige
TTS	(b)	seuil de mûrissement du stock de neige
Quatre paramètres qui gouvernent l'évapotranspiration :		
EVNAP	(a)	pourcentage d'évapotranspiration pris dans le réservoir NAPPE
HPOT	(a)	seuil de prélèvement de l'eau à taux potentiel
XAA	(b)	exposant de la formule de Thornthwaite
XIT	(b)	valeur de l'index thermique de Thornthwaite
Un paramètre et une constante du transfert :		
EXXKT	(a)	paramètre d'ajustement du coefficient de transfert
Z'N	(c)	temps de concentration du bassin
Divers paramètres et constantes :		
COET	(b)	coefficient de correction des températures avec l'altitude
COEP	(b)	coefficient de correction des précipitations avec l'altitude
FACT	(a)	facteur modifiant les précipitations moyennes sur un ensemble de carreaux entiers
JOEVA	(a)	variables décalant la date d'insolation potentielle maximale respectivement pour l'évapotranspiration et pour la neige
JONEI	(a)	
XINFMA	(b)	infiltration maximale par jour
XLA	(c)	latitude moyenne du bassin-versant
TRI	(c)	pourcentage de surface imperméable

a : paramètre déterminé par essai et erreur,
b : paramètre déterminé selon la physique du phénomène,
c : constante déterminée à l'aide des caractéristiques hydrologiques et physiographiques du bassin-versant.

ETP: évapotranspiration potentielle du jour J (mm).

T_{je}: température moyenne du jour J sur le carreau considéré (^{0}C)

XAA: exposant de la formule de Thornthwaite

XIT: valeur de l'index de Thornthwaite

Les deux derniers paramètres sont estimés de la façon suivante :

$$XIT = \sum_{1}^{12} \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.51} \quad (11)$$

où T_m = température moyenne mensuelle

$$XAA = 67.5*10^{-8}XIT^3 - 77.1*10^{-6}XIT^2 + 0.0179*XIT + 0.492 \quad (12)$$

Une correction qui tient compte de la durée potentielle d'ensoleillement est appliquée à l'ETP:

$$ETP = ETP * H \quad (13)$$

où :

$$H = \frac{2}{\Pi}\cos^{-1}\left(-\tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{23.45\Pi}{180}\sin\left(\frac{2\Pi}{365}(J - JOEVA)\right)\right)\tan XLA\right)\right) \quad (14)$$

J: jour de l'année

XLA: latitude moyenne du bassin versant

JOEVA: paramètre permettant de déplacer la date d'insolation maximale de l'année, pour accélérer ou retarder l'évapotranspiration; ce paramètre est normalement fixé à 80 pour obtenir une durée maximale d'ensoleillement potentiel le 21 Juin.

A cela et pour essayer de s'approcher le plus possible de l'évapotranspiration réelle, d'autres paramètres viennent s'ajouter en tenant compte de:

- la végétation présente sur le bassin versant
- la quantité d'eau dans le sol(zones saturée et non-saturée)

On suppose que l'évapotranspiration réelle (ETR) au-dessus des surfaces d'eau libre est en moyenne estimée aux environs de 80% de l'évapotranspiration potentielle (ETP). L'évapotranspiration potentielle au-dessus de la partie terrestre est égale à l'évaporation potentielle affectée d'un facteur dont la valeur varie de 0.80 pour un carreau entier complètement déboisé, à 1.00 pour un carreau entier complètement boisé. L'évapotranspiration réelle au-dessus de la partie terrestre est calculée en fonction de la hauteur d'eau dans le réservoir SOL. Ainsi, l'évapotranspiration se fait à taux potentiel si la hauteur d'eau dans le réservoir SOL dépasse un certain seuil HPOT. Si la hauteur d'eau dans le réservoir SOL est inférieur au seuil HPOT, l'évapotranspiration réelle diminue alors linéairement vers zéro.

3.3.2. Bilan du réservoir SOL.

Les écoulements à la surface du sol et à travers le sol sont schématisés par un réservoir muni d'orifices d'écoulement (figure 3). Le bilan de ce réservoir est effectué sur chaque carreau entier et à chaque jour de la période simulée. La lame d'eau (RIMP) qui s'écoule des surfaces imperméables du bassin versant est considérée comme immédiatement disponible pour l'écoulement en rivière. Cette lame est estimée par l'équation suivante:

$$RIMP=MAX(0, PCIMP(CE)_i*(PLUIE-HRIMP)) \quad \textbf{(15)}$$

PCIMP: pourcentage de surface imperméable du carreau entier i. Ce pourcentage peut être constant sur tous les carreaux entiers ou variable d'un carreau entier à un autre.
HRIMP: lame d'eau nécessaire pour provoquer un ruissellement sur les surfaces imperméables.

La lame d'eau restante au niveau du sol est évaluée par la relation suivante:

$$EAUTER=PLUIE-RIMP \quad \textbf{(16)}$$

L' infiltration (XINF) vers le réservoir NAPPE est évaluée à partir du niveau d'eau (HS) dans le sol,

à l'aide des relations suivantes:

$$XINF=TINF(CE)_i*MAX(0,HS-HINF) \quad (17)$$

$$XINF=MIN(XINFMA,XINF)*ARR27 \quad (18)$$

XINF: lame d'eau infiltrée du réservoir SOL au réservoir NAPPE.

HINF: seuil d'infiltration du réservoir SOL au réservoir NAPPE.

TINF: coefficient d'infiltration dans le réservoir NAPPE, pour le carreau entier i; ce coefficient est pris comme constant sur tous les carreaux entiers ou variable d'un carreau entier à un autre.

XINFMA: limite supérieure d'infiltration journalière.

ARR27: coefficient de pondération tenant compte de la couverture végétale du carreau entier; il est calculé à l'aide des données physiographiques du carreau entier et varie de 0.80 pour un carreau complètement dénudé, à 1.00 pour un carreau entier complètement recouvert de forêt, de lac ou de marais.

À ce stade-ci, le niveau d'eau dans le réservoir SOL est alors diminué de la lame évapotranspirée et de celle infiltrée vers le réservoir NAPPE.

L'écoulement à travers les orifices du réservoir SOL est calculé selon les processus intervenant dans l'ordre suivant:

- le ruissellement de surface qui se produit si la hauteur d'eau dans le réservoir SOL (HS) dépasse la hauteur (HSOL) de ce dernier est évalué de la façon suivante:

$$RUISS=HS-HSOL \quad (19)$$

Toute cette lame d eau devient directement disponible pour le transfert en rivière.

- le 1er ruissellement retardé, qui a lieu si la hauteur d'eau disponible dans le réservoir SOL est supérieure à la hauteur de l'orifice de vidange intermédiaire, est estimé par l'équation suivante:

$$VDINT=MAX(0,(HS-HINT)*CVSI) \quad (20)$$

VIDINT: ruissellement retardé.

HINT: seuil de vidange intermédiaire.

CVSI: coefficient de vidange intermédiaire.

- le 2ième ruissellement retardé, dont l'orifice est situé juste à la base du réservoir SOL, est estimé par la relation suivante:

$$VIDFON=(HS-VIDINT)*CVSB \quad (21)$$

VIDFON: ruissellement retardé.

CVSB: coefficient de vidange basse du réservoir SOL.

3.3.3. Bilan du réservoir NAPPE.

Comme pour le réservoir SOL, les écoulements issus du réservoir NAPPE dépendent du niveau d'eau, de la hauteur des seuils d'écoulement ainsi que des coefficients de vidange affectés à chaque orifice. Étant donné que le réservoir NAPPE sert généralement à reproduire les étiages, les coefficients de vidange ont normalement de faibles valeurs. Les écoulements de la nappe sont calculés à l'aide des relations suivantes:

$$SNAPH=CVNH*MAX(0,HN-HNAP) \quad (22)$$

$$HN=HN-SNAPH \quad (23)$$

$$SNAPB=CVNB*HN \quad (24)$$

CVNH : coefficient de vidange haute du réservoir NAPPE.

CVNB : coefficient de vidange basse du réservoir NAPPE.

HN : niveau d'eau dans le réservoir NAPPE.

HNAP : seuil de vidange haut du réservoir NAPPE.

SNAPH : écoulement de la nappe par la vidange haute.

SNAPB : écoulement de la nappe par la vidange basse.

Comme une partie de l'évapotranspiration peut être prise à même le réservoir NAPPE, le bilan dans

celui-ci est complété comme suit :

$$HN=MAX(0,HN-ETRNAP) \quad (25)$$

$$HN=HN+XINF-SNAPB \quad (26)$$

XINF: la lame d'eau infiltrée depuis le réservoir SOL vers le réservoir NAPPE.
ETRNAP: la lame d'eau évapotranspirée à partir du réservoir NAPPE.

3.4. FONCTION DE TRANSFERT.

La fonction de Transfert effectue le transfert de l'écoulement à travers le réseau de drainage, de carreau partiel à carreau partiel (figure 4). Le volume $V1_i$ étant le volume emmagasiné dans le carreau partiel i, il se vidangera dans le carreau partiel immédiatement en aval d'une quantité $V2_i$ proportionnelle, d'une part, au volume $V1_i$ et d'autre part, à un coefficient de transfert XKTCP, propre au carreau partiel i.

$$V2_i=XKTCP(i)*V1_i \quad (27)$$

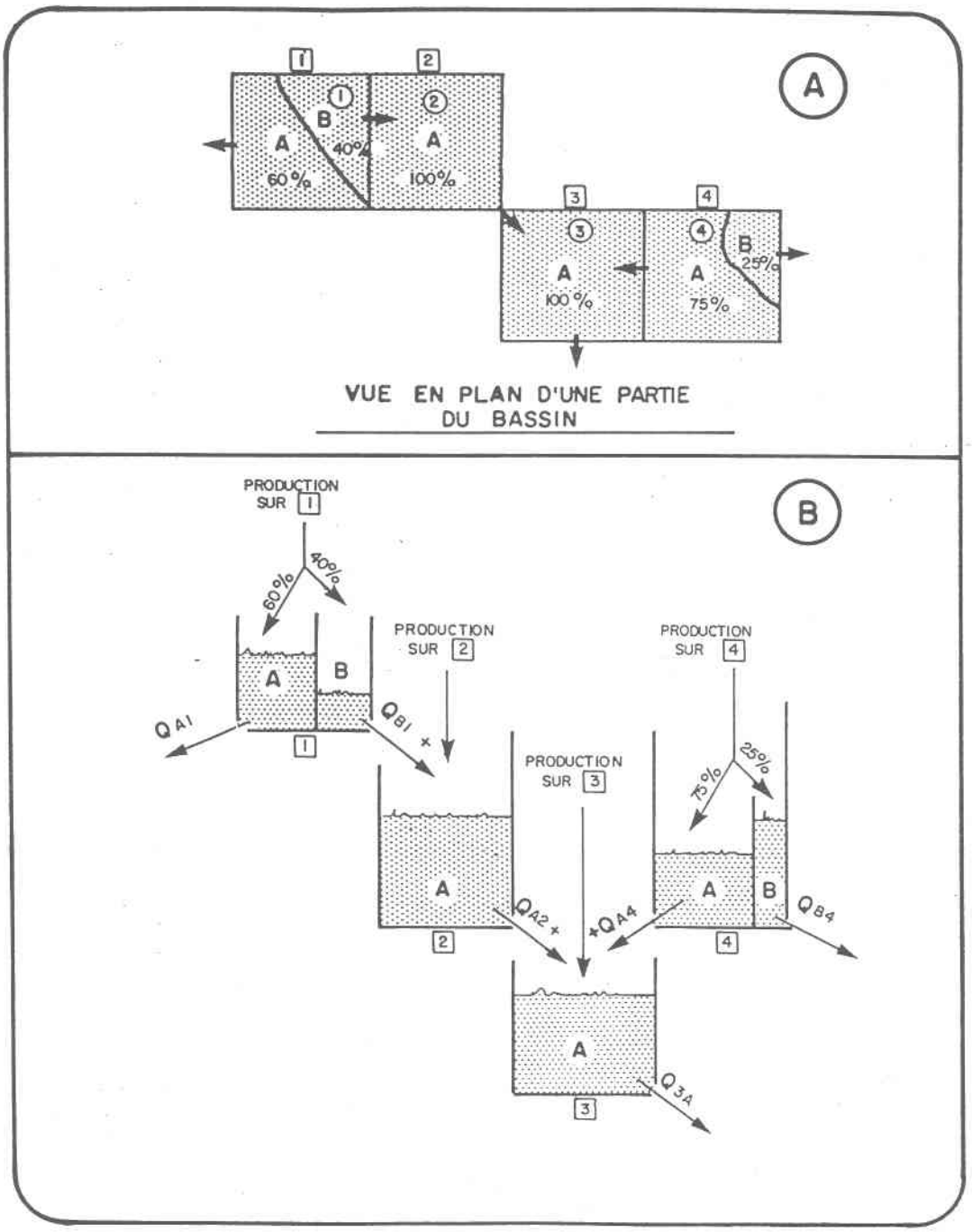
Le coefficient de transfert de chaque carreau partiel est surtout relié aux caractéristiques hydrauliques prépondérantes de l'écoulement et prend en compte essentiellement la superficie couverte d'eau ainsi que la superficie en amont de ce carreau. La formule utilisée pour le calcul du coefficient de transfert est:

$$XKTCP(i)=1-\exp\left(-\min\left(36,\frac{EXXKT*RAM3}{\max(SL_i,SLAC)}*\frac{100}{CEKM2}\right)\right) \quad (28)$$

XKTCP: coefficient de transfert du carreau partiel i pour le pas de temps d'une journée;
EXXKT: paramètre de calcul du coefficient de transfert;
RMA3: cumul des % de superficie de carreau partiel en amont;
SL : superficie d'eau estimée en fonction en fonction de la superficie RMA3;
SLAC : superficie d'eau sur le carreau partiel;
CEKM2 : superficie des carreaux entiers (km²).

Figure 4 : Schématisation de la Fonction de TRANSFERT.

Tiré de: Manuel d'utilisation du modèle CEQUEAU. Morin et al. 1981.



Le modèle CEQUEAU effectue le transfert à partir du carreau partiel le plus en aval (l'exutoire) pour remonter jusqu'au carreau le plus en amont du bassin versant. Pour le transfert, le pas de temps est déterminé par deux facteurs:

- le nombre de carreaux partiels sur le chemin le plus long de l'exutoire à l'amont du bassin versant.
- le temps de concentration du bassin versant, c'est-à-dire le temps que prend l'eau qui tombe sur le carreau partiel le plus en amont pour arriver à l'exutoire.

Ainsi, les coefficients de transfert calculés précédemment doivent être modifiés pour tenir compte du nombre de transferts exécutés par jour (NPJO). La formule retenue est :

$$XKT(i) = 1 - (1 - XKTCP(i))^{\frac{1}{NPJO}} \qquad \textbf{(29)}$$

XKT: coefficient de transfert pour le pas de temps d'une journée.

NPJO: le nombre de transfert par jour = NT/ZN

NT: nombre total de carreaux partiels sur le chemin le plus long, de l'exutoire jusqu'au carreau partiel le plus en amont.

ZN: temps de concentration du bassin versant.

3.5. PRISE EN COMPTE DES BARRAGES.

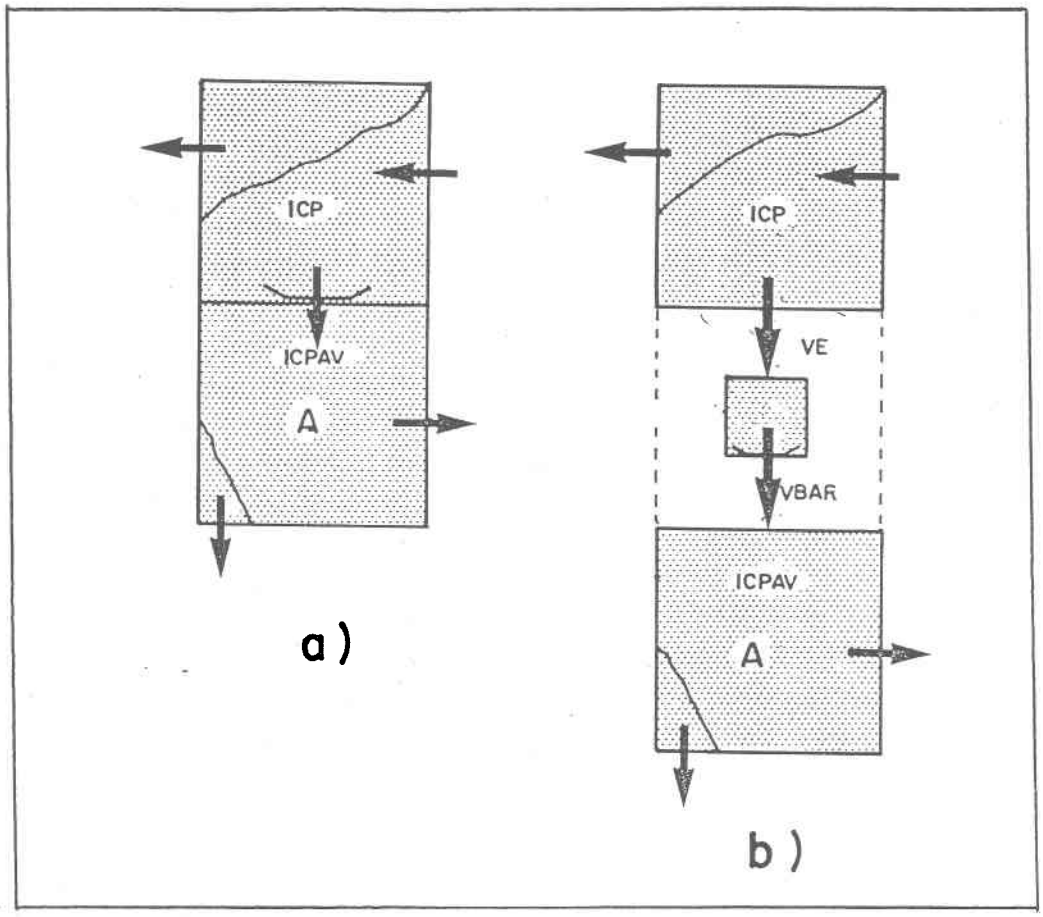
Le modèle CEQUEAU donne la possibilité de travailler sur des bassins versants ayant un ou plusieurs réservoirs réels ou fictifs. Pour prendre en compte un réservoir, le modèle introduit un réservoir (figure 5) entre le carreau partiel (ICP) qui contient le réservoir et le carreau partiel directement en aval (ICPAV).

A chaque pas de transfert, les calculs sont effectués de la manière suivante. Le transfert en rivière depuis le carreau partiel ICP apporte dans le réservoir un apport VE, par pas de temps:

$$VE = XKT(ICP) * VOL(ICP) \qquad \textbf{(30)}$$

Figure 5 : Schéma de prise en compte des barrages

Tiré de: Manuel d'utilisation du modèle CEQUEAU. Morin et al, 1981.



VE: écoulement depuis le carreau partiel ICP (m^3).

XKT: coefficient de transfert du carreau partiel ICP.

VOL(ICP): volume d'eau disponible dans le carreau partiel ICP (m^3).

Pour ce qui est de la détermination du volume d'eau (VBAR) qui sort du barrage pour un pas de temps, le modèle permet d'analyser trois cas:

1. barrage réel sur le bassin versant dont les évacuations sont connues.
2. barrage fictif sur le bassin versant dont l'intérêt est de simuler l'aménagement ultérieur du bassin.
3. barrage réel en dehors du bassin versant étudié, dont les évacuations entrent directement dans un carreau partiel du bassin versant simulé.

Pour le cas d'un barrage fictif sur le bassin versant dont l'intérêt est de simuler l'aménagement ultérieur du bassin versant, les débits sortant des barrages fictifs sont calculés par la méthode de GOODRICH, à l'aide de la réserve d'eau disponible dans le réservoir, en utilisant la relation donnant le débit en fonction de l'emmagasinement. Pour cette méthode de Goodrich, l'équation de continuité s'écrit comme suit :

$$V_2 - V_1 = (\overline{I} - \overline{O}) * \Delta t \qquad \textbf{(31)}$$

V_1 , V_2 : Volume d'eau emmagasiné respectivement au début et à la fin du pas du temps.

Δt : intervalle de temps

I: débit moyen entrant

O: débit moyen sortant

On admet que le pas de temps choisi permet d'estimer le débit moyen sortant (O) par la relation suivante:

$$\overline{O} = \frac{1}{2}(O_1 + O_2) \qquad \textbf{(32)}$$

O_1, O_2 : débit en début et en fin de période, respectivement.

Notons que plus le pas de temps est petit, meilleure est l'estimation du débit moyen sortant. L'équation de continuité peut alors être mise sous la forme suivante:

$$V_2 - V_1 = (\overline{I} - \frac{O_1 + O_2}{2}) * \Delta t \qquad (33)$$

$$\frac{2V_2}{\Delta t} + O_2 = \frac{2V_1}{\Delta t} - O_1 + 2\overline{I} \qquad (34)$$

puisque tous les termes de droite sont connus, on a :

$$\frac{2V_2}{\Delta t} + O_2 = \alpha \qquad (35)$$

Par ailleurs, on connaît la relation reliant le débit d'un réservoir et son volume :

$$O_2 = f(\frac{V_2}{10^6}) \qquad (36)$$

La fonction f est un polynôme de degré inférieur ou égal à 5, en terme de débit sortant (m^3/sec) et de volume emmagasiné (millions de m^3). En combinant les deux équations précédentes, on obtient une équation de la forme:

$$\frac{2V_2}{\Delta t} + f(\frac{V_2}{10^6}) - \alpha = 0 \qquad (37)$$

Le problème se ramène ainsi à la détermination des racines de cette équation dont la résolution est faite par dichotomie sur un intervalle qui doit être déterminé à chaque pas de temps.

3.6. CALAGE DU MODÈLE.

Le calage du modèle CEQUEAU se fait par essai et erreur, et la vérification de l'ajustement du modèle par analyse des résultats numériques et graphiques. Afin de quantifier la précision des

résultats, deux critères d'ajustement sont retenus, soit le coefficient de corrélation R et le coefficient de Nash N. Le coefficient de corrélation R qui indique la covariance entre les valeurs calculées q_C et les valeurs observées q_O varie entre -1 et +1 :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} (q_{ci} - \overline{q_c}) * (q_{oi} - \overline{q_o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (q_{ci} - \overline{q_c})^2 * \sum_{i=1}^{n} (q_{oi} - \overline{q_o})^2}} \qquad \textbf{(38)}$$

Le coefficient de Nash, quant à lui, représente le rapport entre la variance résiduelle et la variance, des débits observés. Sa valeur varie entre - ∞ et +1 ; elle tend vers +1 lorsque les débits simulés tendent vers les débits observés:

$$N = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (q_{ci} - q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{n} (q_{oi} - \overline{q_o})^2} \qquad \textbf{(39)}$$

La mise en graphique, sur une base journalière, des débits observés et simulés, pour chacune des stations hydrométriques du bassin versant, permet d'analyser aisément le synchronisme entre les débits simulés et observés, année par année. En outre, les récentes améliorations apportées au modèle CEQUEAU ont introduit deux programmes (GRACEQ et BVCEQ) aux interfaces graphiques qui rendent particulièrement aisée l'analyse des résultats ainsi que le contrôle des variables. Le programme GRACEQ présente l'hydrogramme des débits journaliers, la dispersion des débits moyens mensuels, l'histogramme des débits moyens mensuels, la dispersion des débits maximums journaliers, l'histogramme des débits maximums journaliers et la fréquence des débits journaliers classés. Le programme BVCEQ, quant à lui, présente la distribution spatiale de différentes variables sur le bassin versant dont:

-le numéro de référence des carreaux entiers,

-l'enneigement (mm) sur le bassin versant, le niveau d'eau dans le réservoir Sol (mm),

-le niveau d'eau dans le réservoir Nappe (mm),

-les pluies (mm) et la fonte (mm) sur le bassin versant,

-la température (^{0}C) sur chaque carreau entier du bassin versant.

Chapitre IV: LE BASSIN VERSANT DE RWEGURA

4.1. PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT.

4.1.1. Aspect physique.

Comme le montre la figure 6, le bassin versant de Rwegura est situé dans le nord-ouest du Burundi. Il couvre une superficie de 80.7 km², avec une altitude comprise entre 2120m et 2621m. De forme effilée, orientée du sud vers le nord-ouest, il est drainé par deux cours d'eau principaux, la rivière Gitenge (du sud au nord) et la rivière Mwokora (du nord au sud) qui se rejoignent juste avant l'exutoire du bassin versant. Le bassin versant de Rwegura est très accidenté et l'indice global de pente est nettement plus faible dans le sens du cours d'eau que dans le sens cours d'eau - ligne de crête. Le bassin versant est boisé à ±50%. Il s'agit d'un boisement dense et vierge faisant partie de la forêt naturelle de la Kibira.

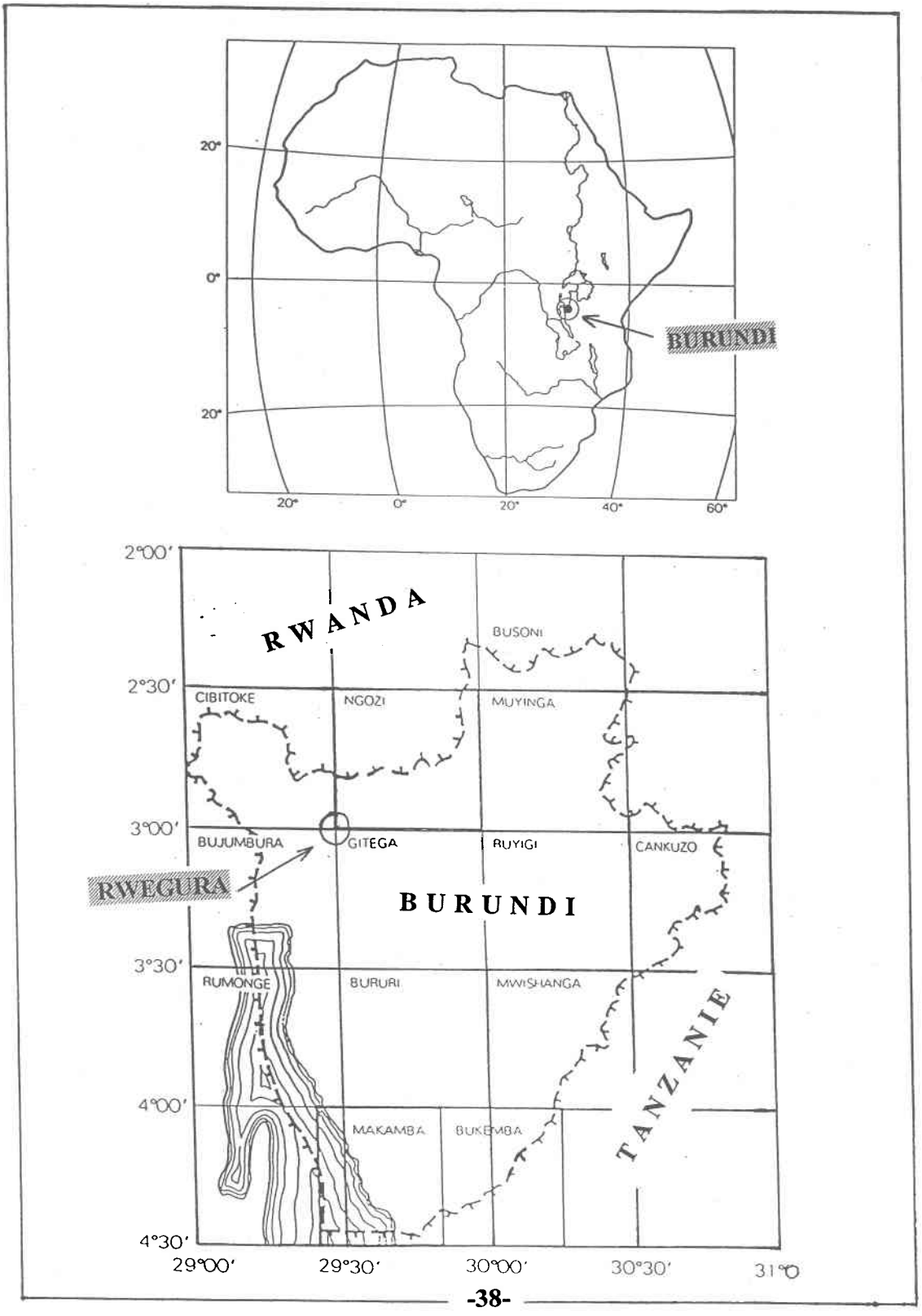
Il n'a pas été possible de recueillir des renseignements sur la structure pédologique, ni sur les caractéristiques hydrauliques et hydrogéologiques du sol et du sous-sol du bassin versant.

4.1.2. Aspect géologique.

Les données géologiques disponibles sur la région de Rwegura et les environs (Carte Géologique du Burundi; feuille de Ngozi. 1983) mentionnent plusieurs formations géologiques (formations de Ngozi, de Mikiko essentiellement sur la crête Zaïre-Nil et au sud-est du bassin versant, de Ruganza au centre, de Kimanga au nord, etc...).

Figure 6: Localisation de la région de Rwegura (Burundi)

Tiré de: Carte Géologique du Burundi; Feuille de Ngozi. 1983.



La formation de Ngozi constitue un ensemble homogène et puissant de phyllites essentiellement de teinte grise noirâtre. A la base se trouvent des phyllites de couleur verte, dans lesquelles s'intercalent deux ensembles métavolcaniques qui constituent un bon niveau de repère pour la lithostratigraphie locale. Le membre métavolcanique inférieur se compose de métabasaltes gris verdâtre, souvent d'aspect amygdaloïde, associés à des phyllites chloriteuses et des amphiboloschistes. Le membre métavolcanique supérieur, acide, est plus hétérogène et comprend différents faciès: aux métavolcanites sont associés des roches volcanosédimentaires.

La formation de Mikiko est essentiellement conglomératique et microconglomératique. Elle comprend, à sa base, un conglomérat pétromicte (épaisseur maximale de 12 à 20 m), suivi d'un conglomérat détritique grossier et rythmique (épaisseur probable de plus de 200 m). Ses composants majeurs sont des galets de quartzite blanc et de quartzite filonien. On y retrouve également de petites quantités de fragments peu arrondis de phyllites gris verdâtre et des galets de tourmalinite noire. La matrice est pélitique gris noir et minéralisée en octèdres et agrégats aciculaires de magnétite. L'ensemble détritique grossier est une alternance rythmique (en bancs de 0.50 à 1.00 m) de grauwackes lithiques, de litharénites, de psammoschistes et de quartzites mal classés. Les composants détritiques majeurs sont du quartz anguleux, de petits fragments de roches phylliteuses et de la muscovite. Le ciment est essentiellement phylliteux. Les niveaux graveleux en microconglomératiques, souvent lenticulaires, montrent des contacts érosifs avec des sédiments sous-jacents. Les structures entrecroisées sont fréquentes. L'ensemble des sédiments détritiques de la formation Mikiko a été interprétée comme un complexe deltaïque-alluvionnaire (Dreesen, 1980). La formation de Ruganza est constituée de métaquartzites de teinte blanche, à grains moyens, bien lités, se débitant souvent en plaquettes décimétriques à centimétriques, parfois d'aspect plus compact en bancs métriques. Les stratifications entrecroisées sont assez fréquentes. Le contact avec les formations phylliteuses sous et sus-jacentes est graduel et se traduit par des passages de quartzite phylliteuse, caractérisés par une altérnance de quartzite blanche et de phyllites gris verdâtre.

Le complexe de Kimanga est constitué de gneiss, micaschistes, métaquartzites, amphibolites, ainsi que de nombreuses injections de "sheets" granitiques, concordants à la foliation.

4.2. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES ET HYDROMÉTRIQUES.

Une station hydrométrique est implantée à l'exutoire même. Une seule station météorologique est implantée légèrement au centre et à l'est du bassin. Les données météorologiques mesurées sur le bassin versant de Rwegura couvrent une période de quatre ans (1980 à 1983). Les données météorologiques, recueillies sont les températures maximales et minimales ainsi que les précipitations, toutes sur une base journalière. Aucune donnée ne manque pendant la période étudiée. Cependant, on doit souligner le fait que le bassin versant étudié dispose d'une seule station météorologique, qui, de plus est légèrement excentré dans le bassin versant (figure 7). Cela peut avoir comme conséquence une mauvaise évaluation des précipitations moyennes sur le bassin versant. La forme allongée du bassin (20 km de long par 4 km de large en moyenne) peut aussi avoir comme conséquence que la station météorologique n'enregistre pas de précipitation à la station lorsque un orage affecte uniquement une partie du bassin versant, ce qui semble avoir été le cas à quelques périodes où l'on a enregistré subitement de gros débits sans précipitations proportionnelles. On peut citer l'exemple du 15, 16 et 17 Avril 1981 où l'on a enregistré des niveaux d'eau respectivement de 1.11, 1.29 et 0.96 m (annexe A), soit les niveaux les plus élevés durant ces quatre années étudiées pour des précipitations de 39, 7.3 et 0.8 mm (annexe B), soit une moyenne de 1.12 m de lame d'eau pour 16 mm de précipitations. Cette situation semble être expliquée par de fortes précipitations affectant uniquement une partie du bassin versant et excluant la station météorologique. La seconde hypothèse serait que de fortes précipitations auraient effectivement englobé tout le bassin versant mais que le pluviomètre ne les aurait pas enregistrées à cause d'un débordement des augets du pluviomètre lors d'une averse torrentielle. Ce genre de cas arrive souvent dans les régions à fortes précipitations utilisant des pluviomètres à augets basculeurs (Réméniéras, 1965). Toutefois, on constate que ce genre de situation a été plutôt rare et ne semble s'être produite qu'une fois durant les trois années étudiées (1980-1982).

Quant aux données hydrométriques, le bassin versant dispose d'une seule station hydrométrique. Les seules données manquantes sur la période étudiée sont celles des 30 et 31 Mai 1980 et ont été complétées suivant l'allure générale des débits observés avant et après ces dates. Les données

hydrométriques sont constitués des lectures d'échelle qui étaient disponibles, d'où les débits (m^3/sec) ont été ensuite obtenus à l'aide de l'équation de transformation suivante:

$$q = 5.57*(H-0.05)^{0.98} \quad \textbf{(40)}$$

4.3. DONNÉES PHYSIOGRAPHIQUES.

Étant donné que le bassin versant est très accidenté, nous avons choisi un pas de discrétisation assez petit pour augmenter la précision dans la récupération de l'information. Ainsi, des mailles carrées de 1 km^2, ont été définies à partir des cartes topographiques établies par l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU), à l'échelle de 1/50.000, ceci donne 114 carreaux entiers sur lesquels les informations suivantes ont été récupérées:

- % des forêts
- % des lacs et rivières
- % des marais
- altitude du coin inférieur gauche de la maille

Les carreaux partiels, ont été obtenus en traçant les lignes de partage des eaux sur chaque carreau entier. Sur chaque carreau partiel, les informations suivantes sont déterminées:

- superficie (%)
- sens de l'écoulement

Une fois toutes ces données disponibles, elles sont codifiées puis soumises au module PHYCAR de CEQUEAU pour vérification et préparation de la banque de données de drainage et physiographiques utilisées par le modèle.

Figure 7: Découpage du bassin versant de Rwegura

en carreaux entiers (de 1 km²) et en carreaux partiels.

(▼: station hydrométrique (à l'exutoire); ★: station météorologique)

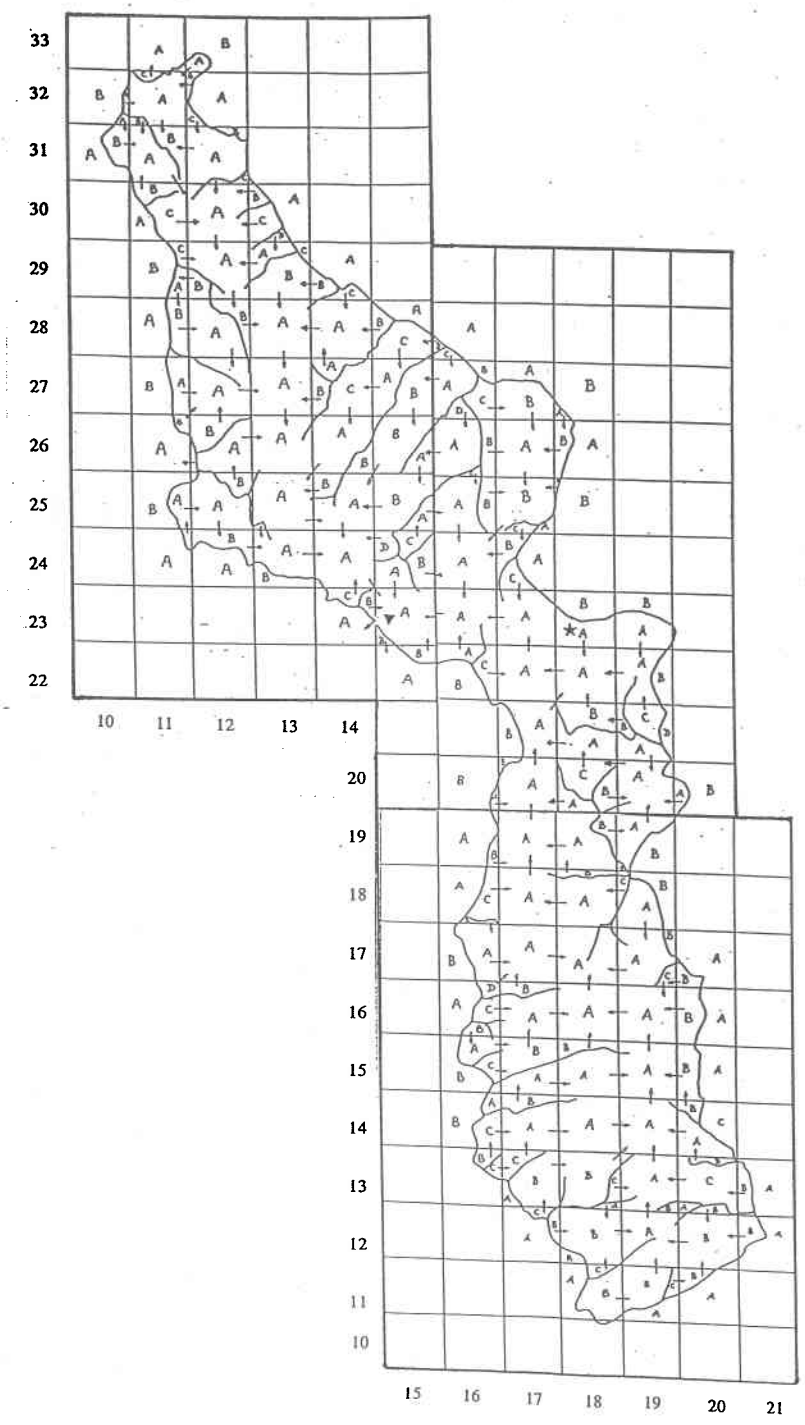


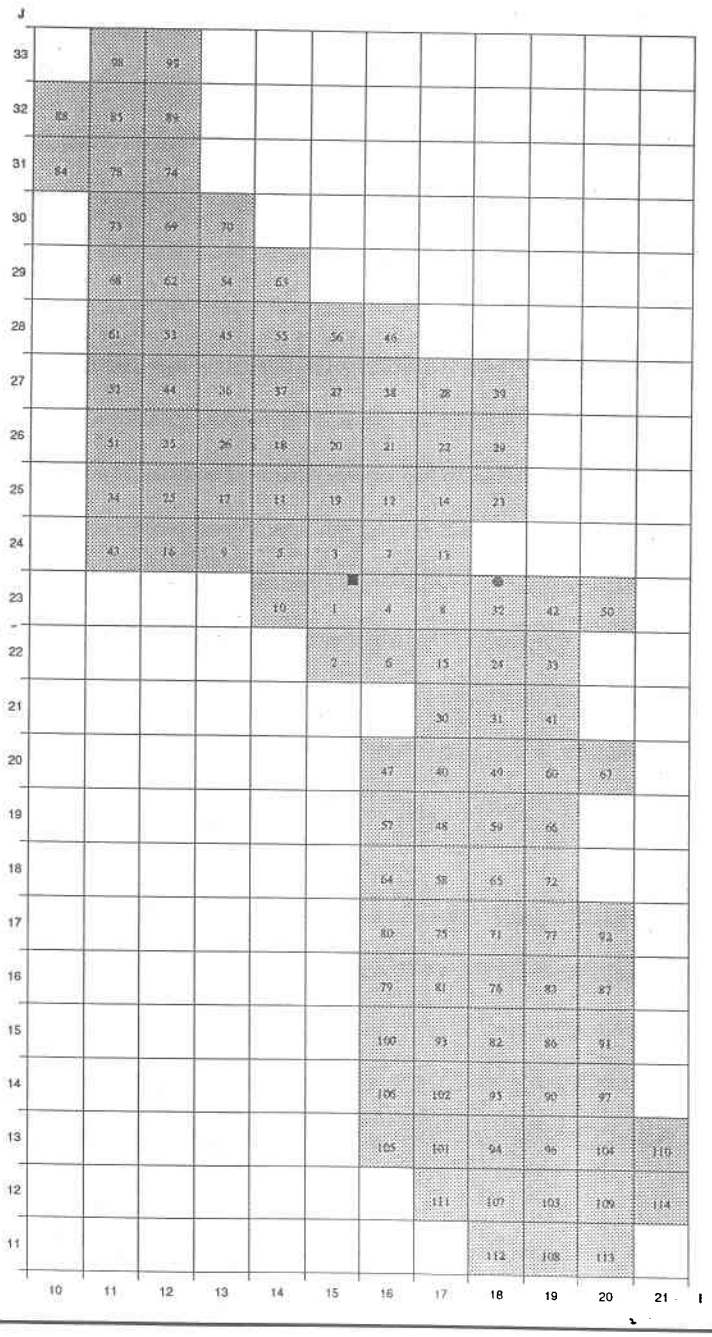
Figure 8: Numéros de référence des carreaux entiers du bassin versant de Rwegura par le programme BVCEQ du modèle CEQUEAU.

■ Station hydrométrique

● Station météorologique

Numéro de station: 100

Superficie du b.v.: 80.7 km²



4.4. CALIBRATION DU MODÈLE.

L'étape de calibration débute avec des valeurs arbitraires des différents paramètres du modèle. Le premier résultat de simulation montre que les débits observés et calculés sont très différents. L'ajustement des paramètres étant assez complexe, on effectue des modifications des paramètres et l'analyse des résultats étape par étape. On a commencé par ajuster les paramètres qui régissent le réservoir NAPPE, ensuite ceux régissant le réservoir SOL et enfin ceux en rapport avec l'évapotranspiration. L'ajustement des paramètres du réservoir NAPPE se reflète essentiellement sur la période d'étiage (de juin à août) et consiste à faire en sorte que la vidange de ce réservoir ait la même vitesse que celle observée. À ce stade, on s'occupe prioritairement de l'allure de la vidange et accessoirement du volume écoulé parce que ce dernier dépend encore de l'ajustement des paramètres des autres réservoirs. L'ajustement des paramètres du réservoir SOL, quant à lui, se reflète essentiellement sur la période des pluies (de septembre à mai). C'est surtout à partir des débits de crue que la plupart des paramètres de ce réservoir sont ajustés. La vidange basse du réservoir SOL est initialement fermée puis ouverte pour écouler, suivant une vitesse donnée, le volume d'eau qui ne peut ni s'infiltrer vers le réservoir NAPPE, ni s'écouler par la vidange intermédiaire à cause des seuils d'infiltration et de vidange trop hauts. Cela permet entre autre de réagir de façon appropriée aux précipitations de faible intensité. Un décalage plus ou moins flagrant entre les fortes crues calculées et observées permet d'ajuster et de déterminer définitivement le temps de concentration du bassin versant.

L'étape suivante consiste à ajuster tous les paramètres qui sont en rapport avec l'évapotranspiration. Les plus importants parmi ceux-ci sont l'index thermique de Thornthwaite (XIT) ainsi que l'exposant de la formule de Thornthwaite (XAA). Les valeurs de départ de ces deux paramètres sont calculés à l'aide des formules (16) et (17), en utilisant les températures moyennes mensuelles enregistrées sur le bassin versant.

L'évapotranspiration régularise de façon générale les volumes d'eau dans les différents réservoirs. Les lacs et marais représentent une superficie de 2.97% du bassin versant. Ainsi, le réservoir LACS-

MARAIS représente une importance quantitative relativement négligeable et s'ajuste assez bien.

Tableau 2: Paramètres du modèle du bassin versant de Rwegura.

SOL1	CIN	CVMAR	CVNB	CVNH	CVSB	CVSI	XINFMA
	0.25	0.016	0.0018	0.0004	0.0019	0.07	50
SOL2	HIN	HINT	HMAR	HNAP	HPOT	HSOL	HRIMP
	160	160	50	180	160	230	2
SOL3	COEP	EVNAP	TRI	XAA	XIT	XLA	COET
	0.5	0.2	0.02	1.744	54.735	255	0.001
SOL INITIAL	HSINI	HNINI	HMINI	QO	TMUR	TSTOCK	
	160	400	50	0.87	0	0	
TRANSFERT	EXXKT	ZN					
	0.061	1					

Chapitre V: RÉSULTATS ET DISCUSSION DES SIMULATIONS DE SCÉNARIOS

5.1. RÉSULTATS.

Nous présenterons dans les sections qui suivent les graphiques des simulations effectuées avec le modèle CEQUEAU:

. Hydrogrammes interannuels des débits journaliers pour les années 1980, 1981 et 1982.

. Dispersion des débits moyens mensuels pour la période 1980 - 1982.

. Dispersion des débits journaliers maximum pour la même période.

. Fréquence des débits classés.

Après chaque simulation, il est possible d'aller récupérer la valeur de la précipitation, la valeur de chaque type d'écoulement (le ruissellement sur les surfaces imperméables, les ruissellements superficiel, intermédiaire et bas, l'évapotranspiration dans le réservoir SOL, les écoulements haut et bas du réservoir NAPPE, l'évapotranspiration dans le réservoir NAPPE, l'écoulement et l'évapotranspiration du réservoir LACS-MARAIS) sur n'importe chaque carreau entier du bassin versant, pour chaque année de la période simulée. Sont présentées aussi les données et les graphiques montrant la contribution relative des différents types d'écoulement dans le régime hydrologique du bassin versant pour les années 1980 à 1982. Les données ont été récupérées sur le carreau entier n° 68 qui présente un facteur de correction des précipitations le plus proche de la correction moyenne sur le bassin versant:

. Graphiques des écoulements.

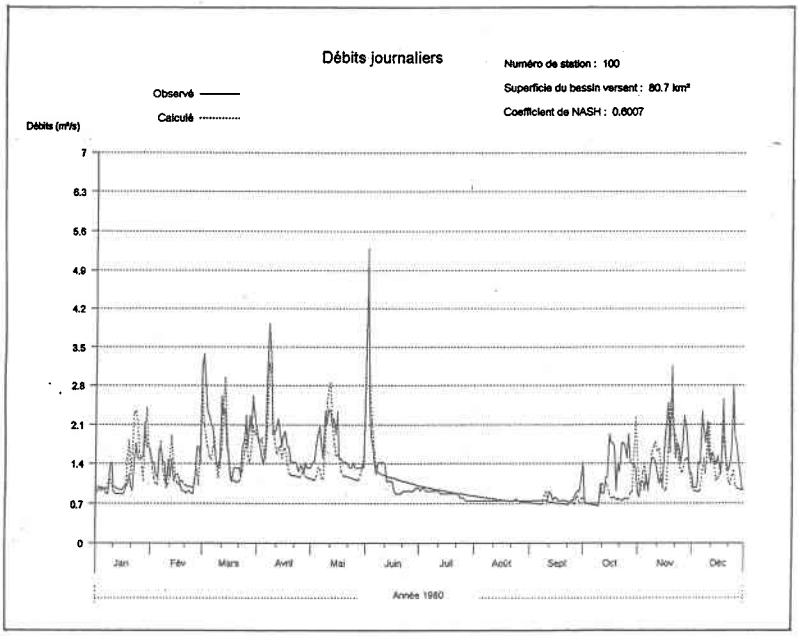
. Graphiques des écoulements cumulés.

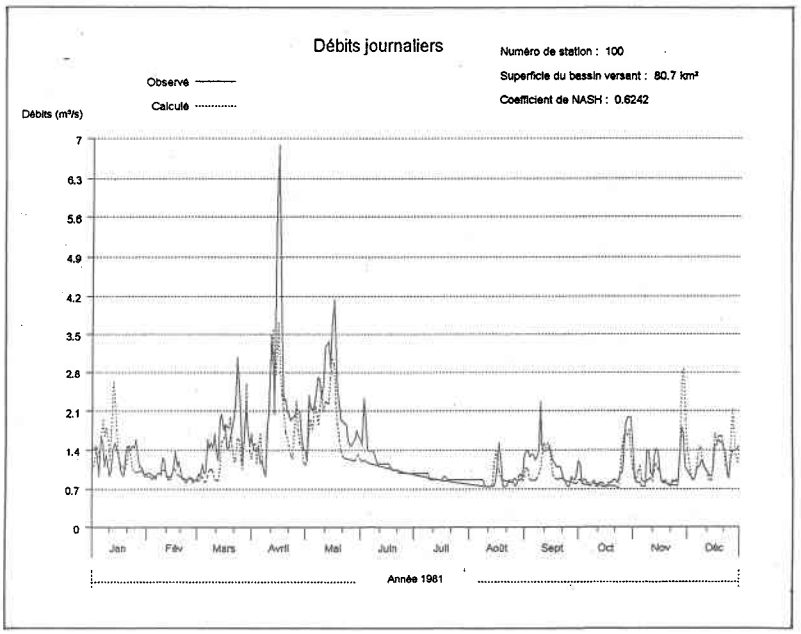
. Graphiques des contributions à l'écoulement .

. Graphiques ETR - Écoulements.

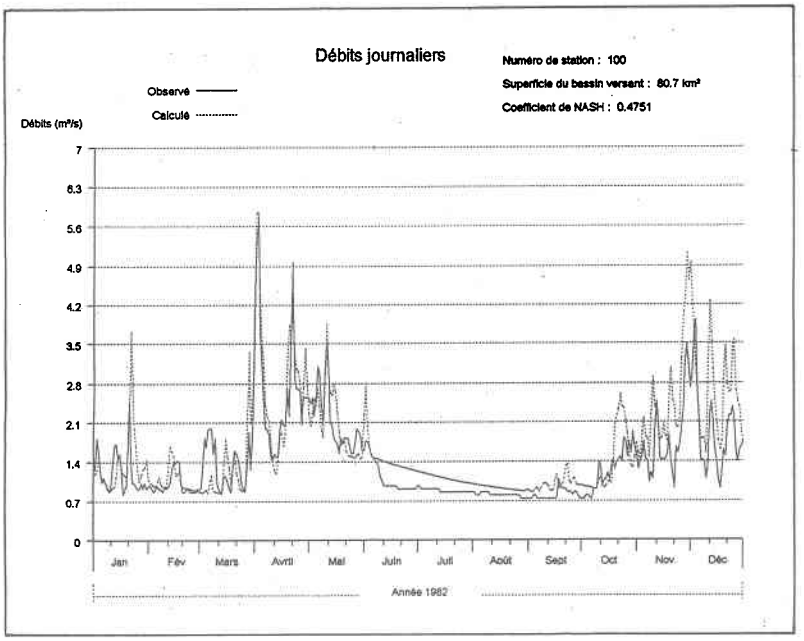
. Histogrammes des précipitations.

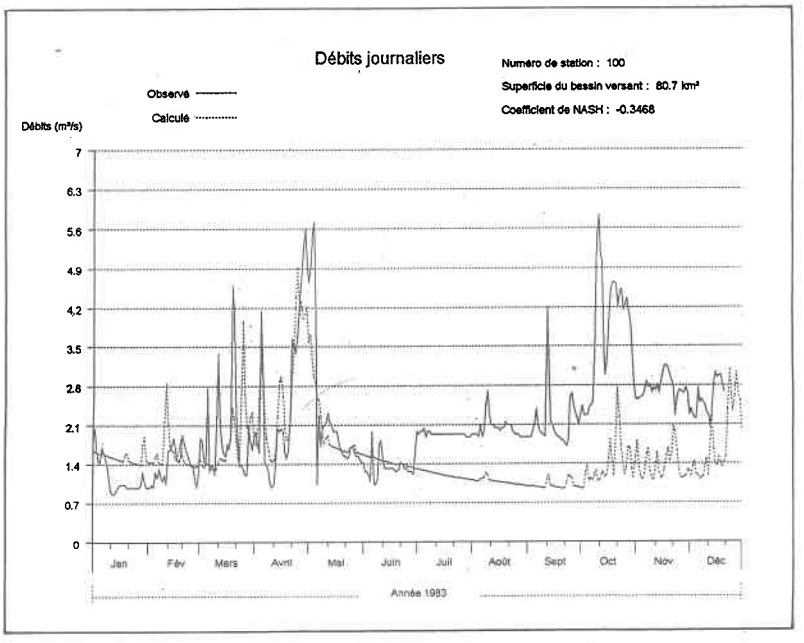
Figures 9 et 10: Hydrogrammes des débits journaliers mesurés et calculés pour les années 1980 et 1981



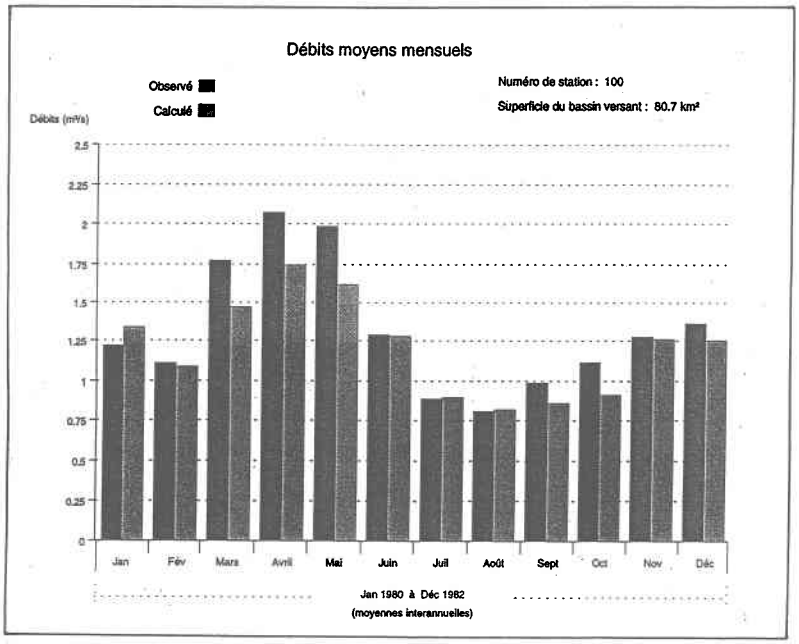


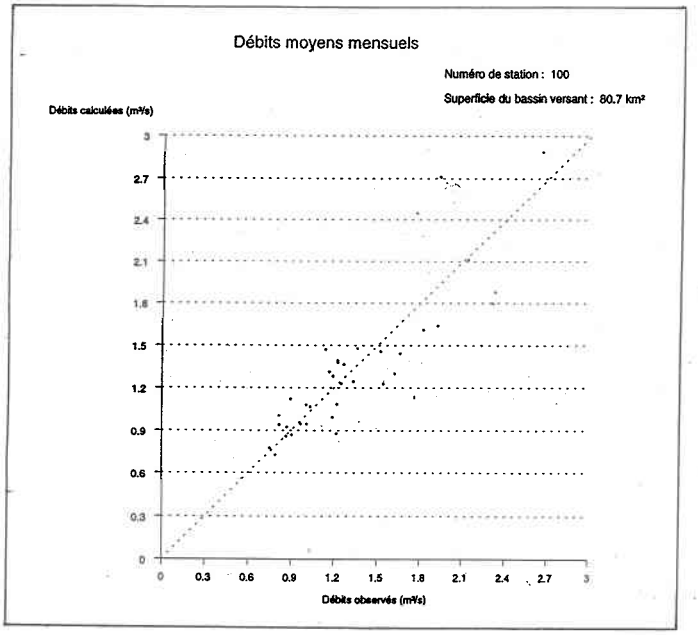
Figures 11 et 12: Hydrogrammes des débits journaliers mesurés et calculés pour les années 1982 et 1983



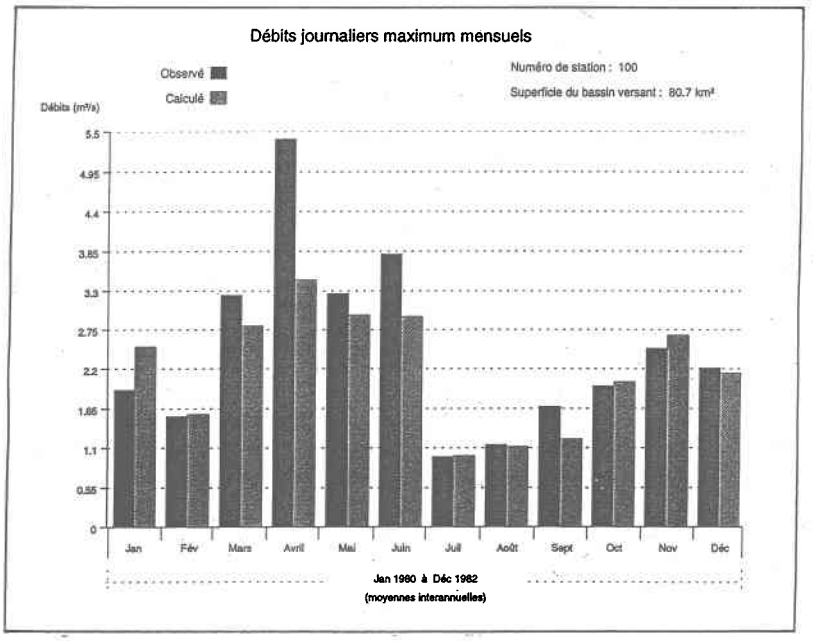


Figures 13 et 14: Histogramme et régression linéaire des débits moyens mensuels mesurés et calculés pour les années 1980 à 1982





Figures 15 et 16: Histogramme et régression linéaire des débits journaliers maximaux mesurés et calculés pour les années 1980 à 1982



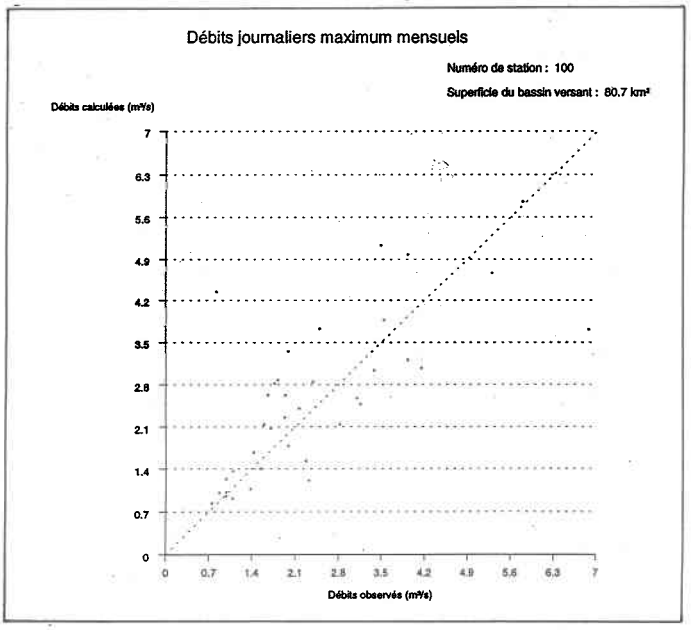
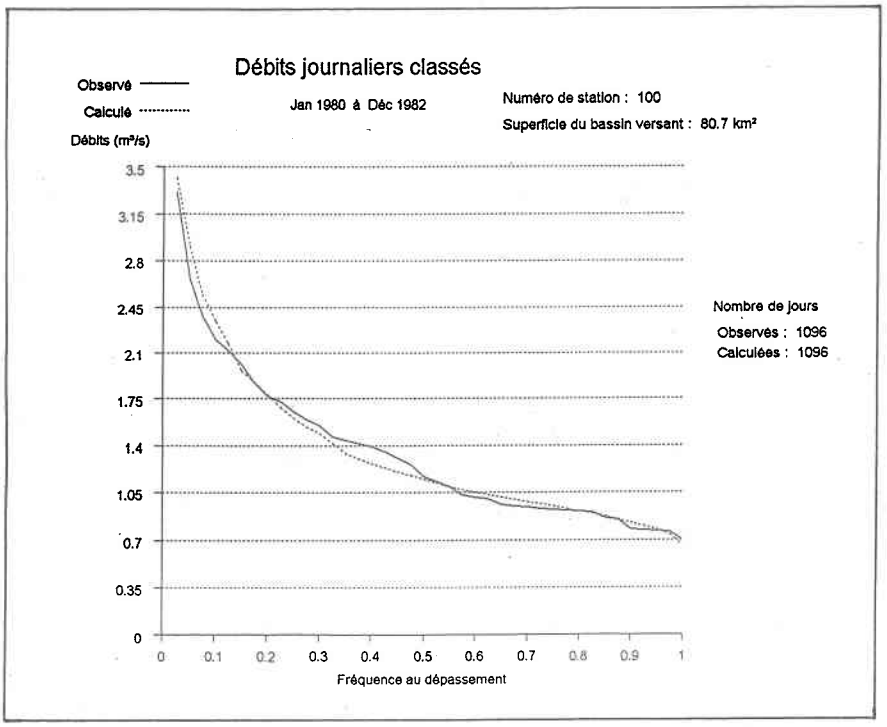
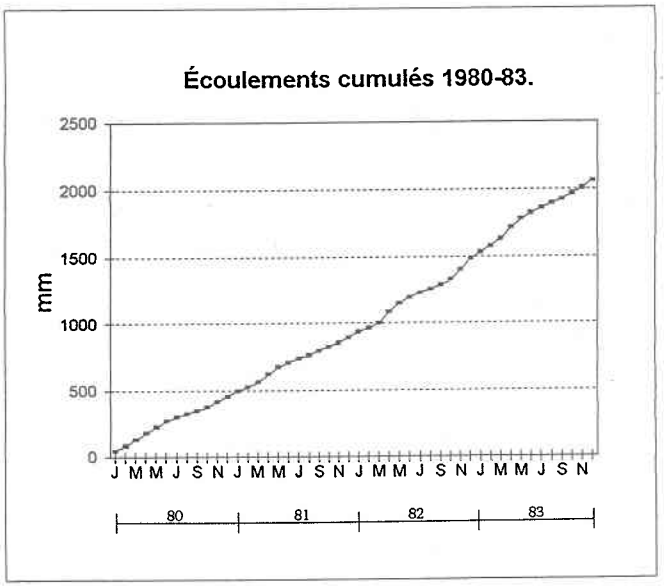


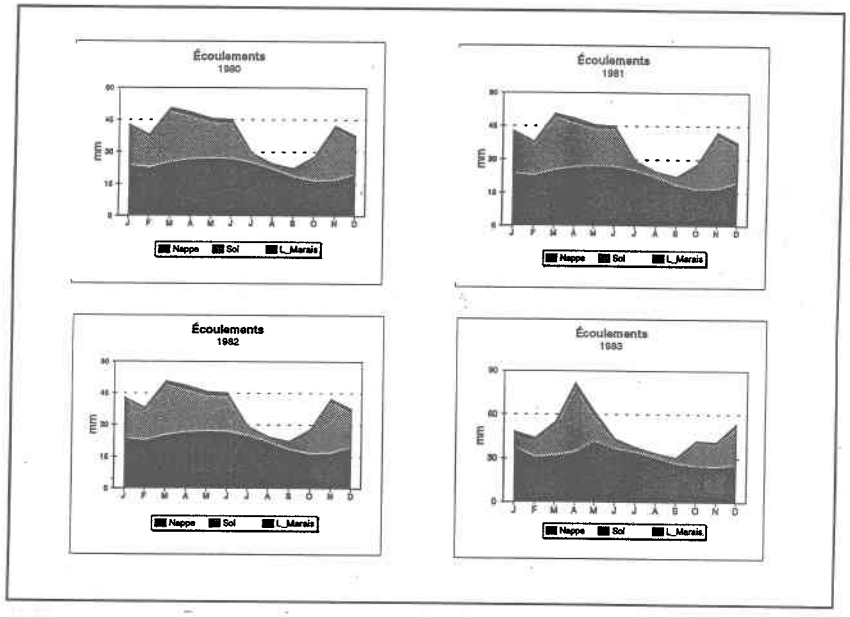
Figure 17: Fréquence des débits journaliers classés pour les années 1980 à 1982

Figure 18: Écoulements cumulés pour les années 1980 à 1983





Figures 19 et 20: Écoulements journaliers et cumulés des réservoirs Nappe, Sol et Lacs-Marais



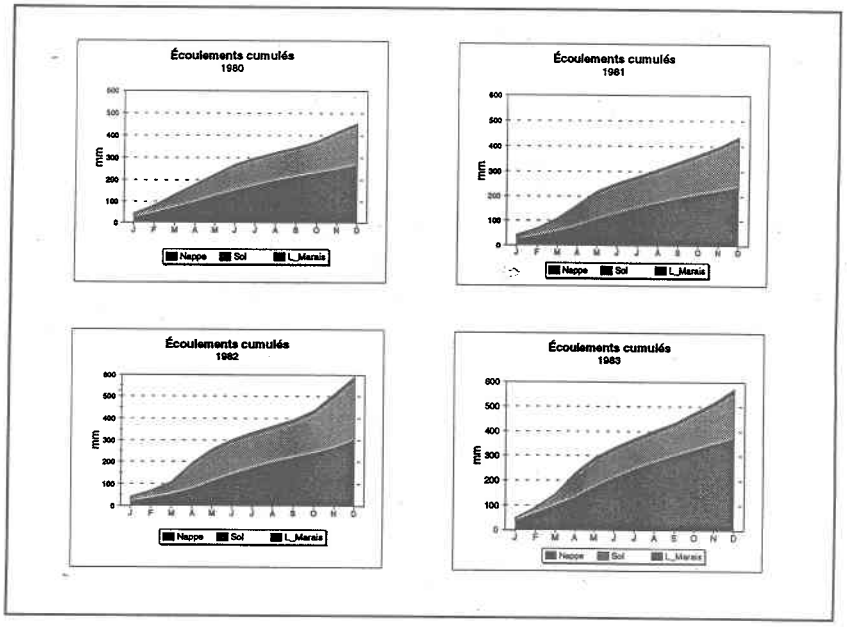
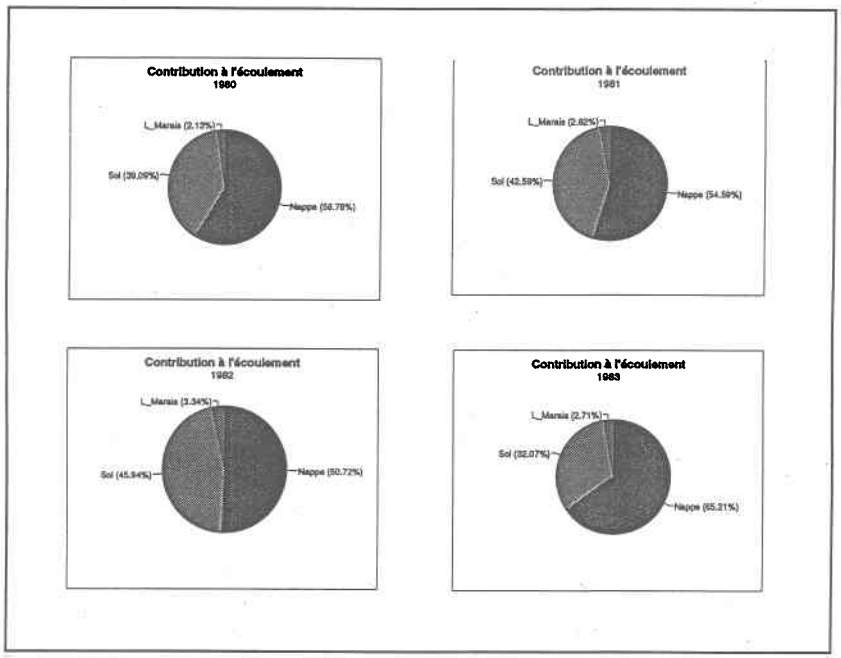
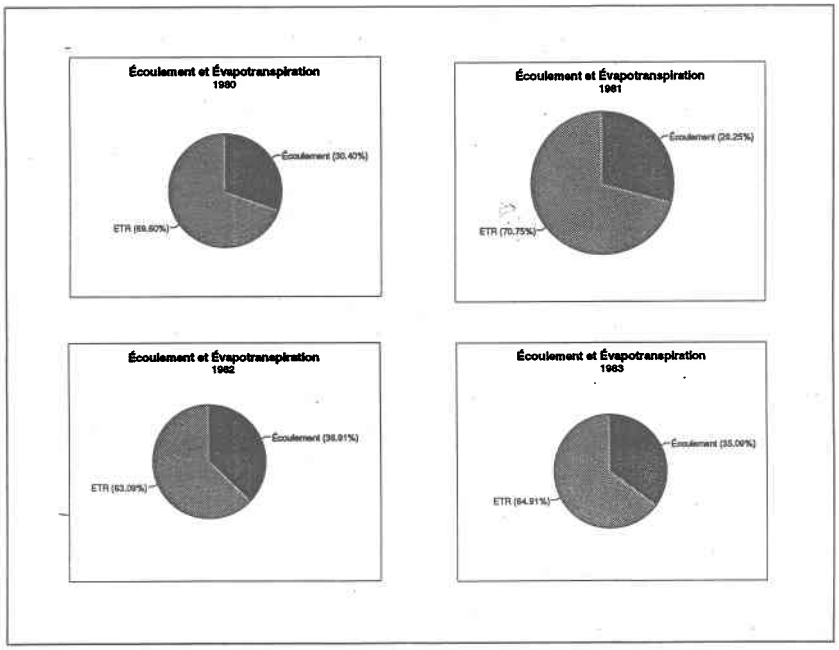


Figure 21: Contributions relatives des différents types d'écoulement

Figure 22: Importances relatives de l'évapotranspiration et de l'écoulement





Les figures 9 à 12 représentent les débits calculés et observés pour les années 1980 à 1983. On constate que l'année 1983 est particulièrement mal ajustée. Ceci peut être attribuable à de multiples raisons plus ou moins apparentes. Ainsi, pour les figures 13 à 17 représentant essentiellement des moyennes des valeurs observées et calculées sur la période étudiée, nous avons omis d'y inclure les valeurs de l'année 1983 qui semblent erronées. Quant aux figures 18 à 22, elles reprennent les valeurs simulées pour les quatre années (1980 - 1983).

L'Afrique connaissant depuis quelques années une évolution marquée des précipitations (à la baisse), nous avons analysé l'aptitude de la nappe d'eau souterraine du bassin versant de Rwegura à subvenir aux écoulements du dit bassin versant en cas de précipitations déficitaires. Nous avons ainsi affecté aux précipitations réelles des années 1980 à 1983 un facteur qui diminue les précipitations journalières de 0% à 100%. La figure 23 présente les écoulements moyens mensuels pour les différents facteurs affectés aux précipitations (facteur de pondération F = 0.75, 0.50, 0.25 et 0.00) pour la période 1980-1983.

5.2. DISCUSSION.

Le principal critère que le modèle utilise pour évaluer les écarts entre les débits observés et ceux simulés est le critère de Nash, qui représente le rapport de la variance résiduelle à la variance des débits observés. Pour le modèle du bassin versant de Rwegura, nous avons obtenu des valeurs du Nash égales à 0.60, 0.62 et 0.49 respectivement pour les années 1980, 1981 et 1982. On observe que l'année 1982 connaît un surplus systématique d'eau par rapport aux débits observés, pratiquement à partir du mois de Juin jusqu'à la fin de l'année. L'année 1983 bien qu'ayant reçu des précipitations normales par rapport aux autres trois années, on constate néanmoins que son ajustement est loin d'être satisfaisant. Ces difficultés d'ajustement pourraient cependant résulter moins du modèle lui-même que des modifications qui pourraient s'être produites sur le bassin versant, tout au moins au niveau de la station de jaugeage. Sur l'histogramme des débits observés et simulés de cette année, on remarque une augmentation brusque du débit observé à l'exutoire au 1er juillet alors que les précipitations sont quasi-nulles depuis la fin Mai. On peut donc supposer une modification

importante au niveau de la station de jaugeage tel que le détarage de la station (modification des échelles limnigraphiques, modification du lit, etc.). Concernant le premier semestre 1983, les hypothèses sont moins évidentes. Toutefois, on sait que la station hydrométrique a été fermée le 21 Décembre 1983 pour faire place aux travaux d'aménagement du barrage hydro-électrique de Rwegura. N'ayant pas pu recueillir d'information notamment sur le début et la nature des travaux d'exploration (tracé des routes d'accès au site, aménagement du chantier, etc.) ayant précédé cette fermeture, l'on est porté à croire que ce genre d'événements pourraient expliquer les anomalies observées au premier semestre 1983.

La courbe des débits journaliers classés obtenu par le modèle du bassin versant de Rwegura est assez bien ajustée. Elle donne en ordonnée la valeur du débit journalier dont la probabilité (en %) d'être atteinte ou dépassée est donnée en abscisse. En fonction de la nature des calculs hydrologiques utilisant la courbe des débits classés, il est également possible de construire la courbe des débits moyens mensuels classés, qui devrait être encore mieux ajustée que celle des débits journaliers.

Les courbes des débits cumulés sont utiles et pratiques pour les études de régularisation des débits d'un cours d'eau à l'aide des réservoirs. En effet, ce genre de courbes indiquent le volume d'eau écoulé en une station donnée depuis un temps bien déterminé. Il est alors possible de déterminer le débit Q à l'instant t comme étant la valeur de la tangente à la courbe des débits cumulés à cet instant donné. La courbe des débits cumulés est utilisée souvent dans les études d'ingénierie pour l'évaluation de la capacité minimale à donner à un réservoir qui est destiné à maintenir le débit d'une rivière à une valeur donnée pendant une période déterminée.

Les graphiques de la figure 24 mettent en évidence l'importance relative de l'évapotranspiration par rapport à l'écoulement total sur le bassin versant. On obtient des valeurs variant entre 60 et 70% pour l'évapotranspiration totale, ce qui est relativement important et montre par conséquent l'importance d'évaluer avec précision cette composante du cycle hydrologique. Il est intéressant de noter que l'évapotranspiration totale est peu sensible aux variations annuelles des précipitations pourtant très marquées pour l'année 1982 par exemple, qui est une année plus humide que les trois

autres. Cette faible sensibilité de l'évapotranspiration pour des variations de précipitations de l'ordre de 500 mm serait expliquée par une saturation du pouvoir évaporant de l'atmosphère qui serait atteinte plus tôt.

Concernant la contribution relative des différents types d'écoulements (nappe, sol et lacs-marais) dans le régime hydrologique du bassin versant de Rwegura, la figure 21 montre que la nappe contribue de façon assez significative aux écoulements à l'exutoire avec des valeurs variant entre 50 et 60%, garantissent un débit minimum de 0.70 m^3/sec pendant toute la période simulée. On observe également sur la figure 19 que les écoulements issus de la nappe gardent une certaine constance tout au long de l'année, contrairement aux écoulements issus du réservoir SOL, qui sont en grande partie tributaires des précipitations.

Étant donné que la météo connaît des fluctuations inter-annuelles souvent non prévisibles à terme, nous avons analysé ce que serait l'aptitude la nappe d'eau souterraine du bassin versant de Rwegura à répondre aux besoins en eau, définis à l'exutoire du bassin versant. La figure 25 montre la proportion du volume d'eau qui se serait écoulée annuellement (en %) pour les différents facteurs de pondération appliqués aux précipitations des quatre années (1980 à 83), par rapport aux volumes normaux de ces mêmes années. Ainsi, par exemple, pour des précipitations égales à 75% de celles enregistrées normalement en 1980, on aurait environ 69% du volume (ou débit moyen annuel) normalement écoulé pour la même année.

En analysant la figure 25, on peut faire ressortir deux points principaux. Premièrement, en diminuant de 25% les précipitations de l'année 1980, qui est la première année de simulation, le volume d'eau écoulé diminue de l'ordre de 30%, alors que si on annule carrément toute précipitation pour cette année, on aura tout de même aux environs de 30% du volume d'eau qui se serait écoulé normalement, ce qui est relativement important. Par contre, force est aussi de constater que la nappe d'eau souterraine ne sera en fin de compte capable de soutenir ce débit que durant la première année seulement, le volume d'eau de la deuxième année accusant quant à lui un déficit de l'ordre de 95% dans les mêmes conditions de précipitations nulles.

Figure 23: Évolution de l'écoulement pour des précipitations déficitaires

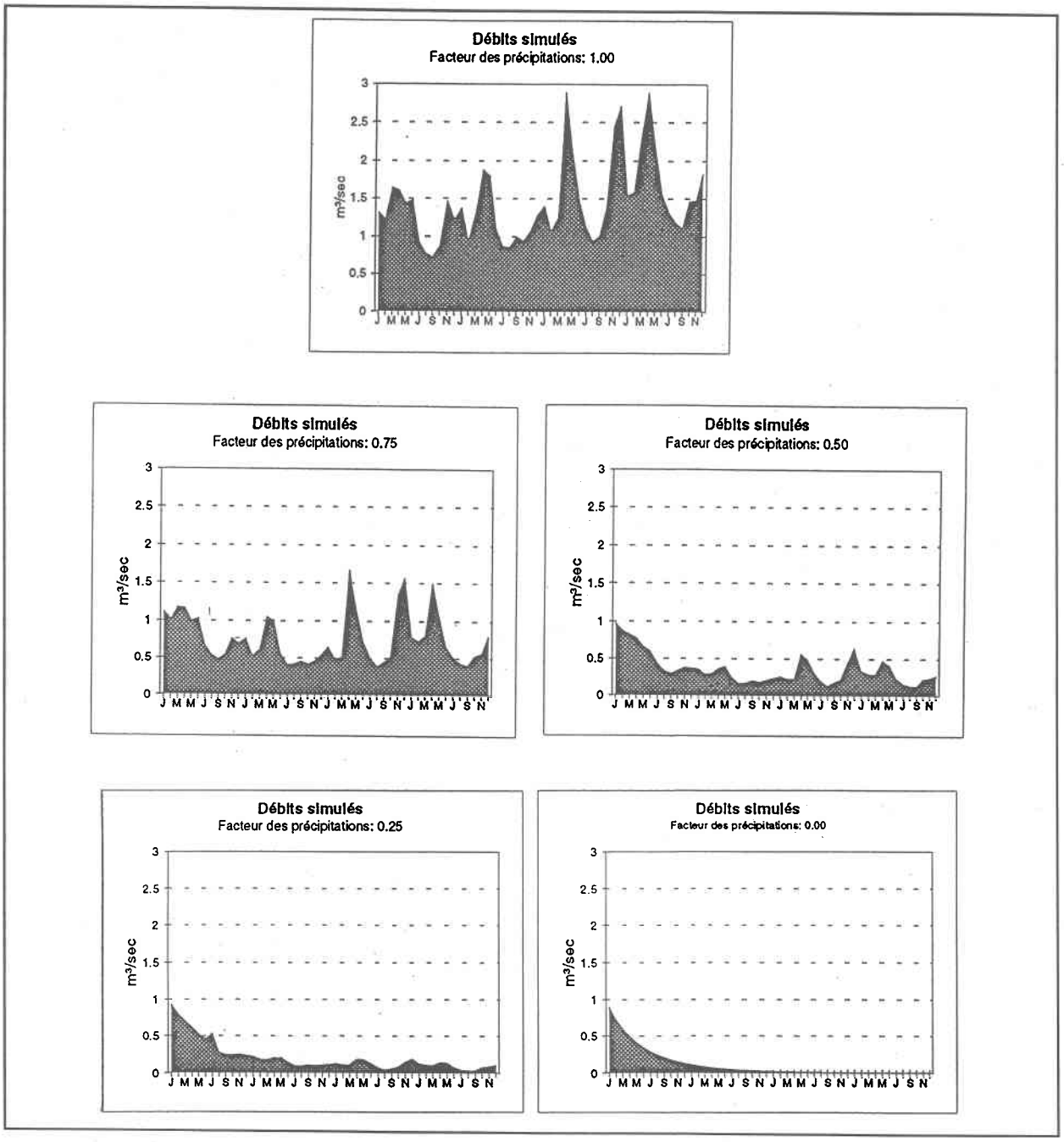


Figure 24: Évapotranspiration et Écoulement en rapport avec les précipitations annuelles.

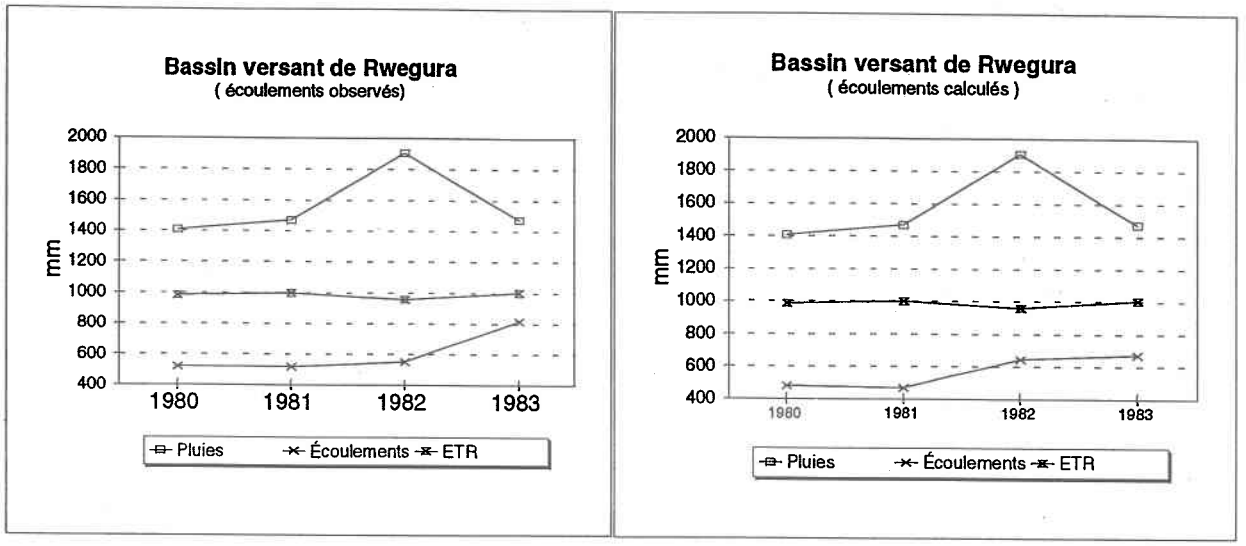
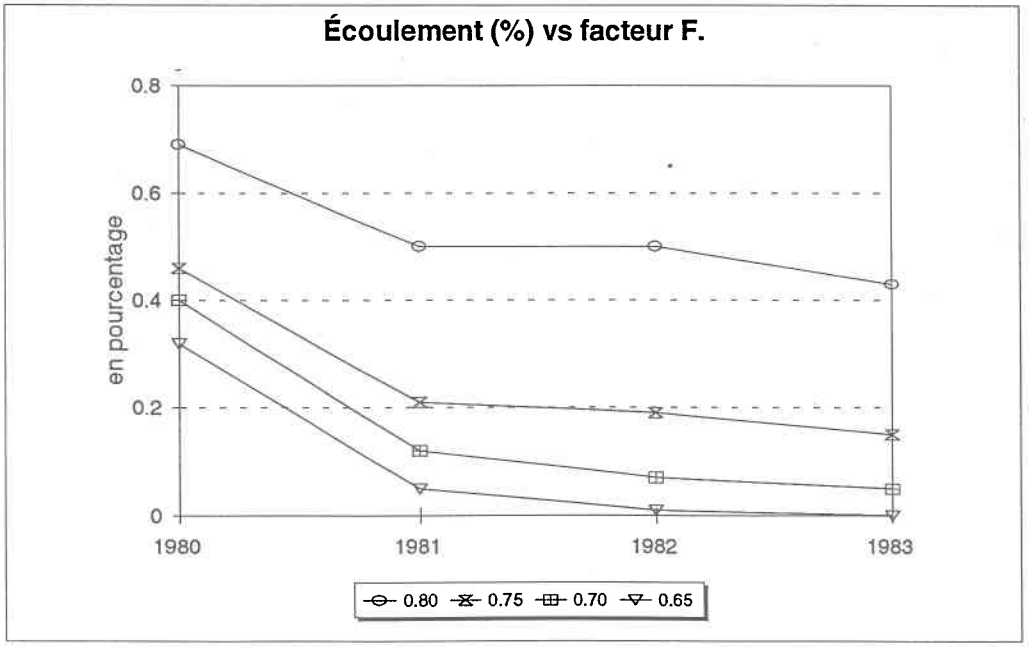


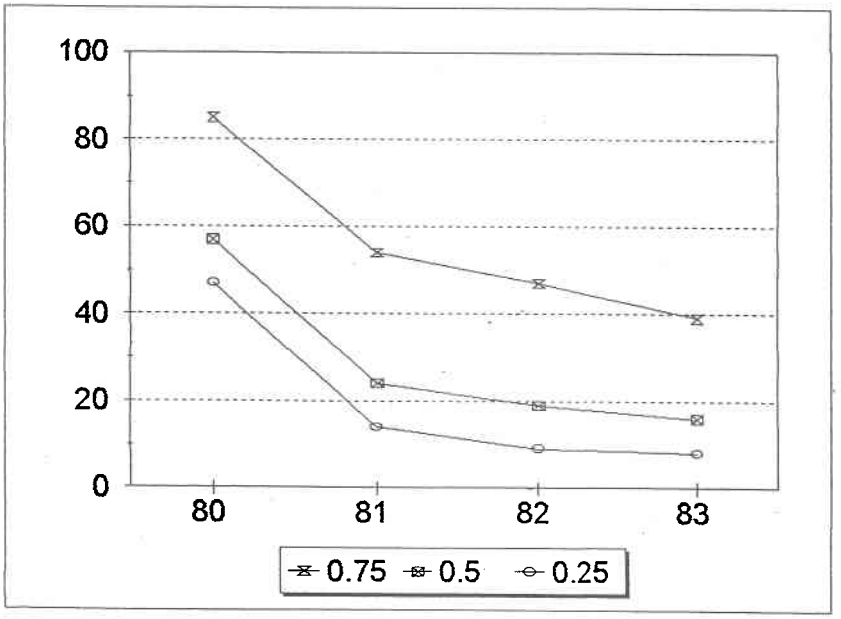
Figure 25: Volume d'eau annuel moyen en fonction du facteur appliqué aux précipitations.



Deuxièmement, en observant les pentes des courbes de la figure 25, on remarque que, indépendamment du facteur de pondération appliqué aux précipitations, les pertes en volume d'eau écoulé sont beaucoup plus prononcées la première année que les années suivantes. On remarque aussi une certaine stabilisation du volume écoulé pour l'année 1982 par rapport à l'année précédente. Cela serait dû au fait que l'année 1982 a été une particulièrement humide. C'est d'ailleurs ce qui semble se confirmer sur la figure 26 où l'on a pris une série de quatre années de précipitations égales à celle de 1980. La pente de la courbe pour la même période est aussi plus prononcée.

Lorsque une modification à long terme est affectée aux précipitations, le bassin versant met plus de quatre années pour atteindre un nouvel état stationnaire d'écoulement. Cette période est le résultat de la contribution importante de la nappe à l'écoulement du bassin versant. La vidange partielle de nappe, pour se stabiliser au nouveau régime de précipitations prendrait donc plus de quatre années pour se réaliser.

Figure 26: Volume d'eau annuel moyen (%) pour quatre années de précipitations égales à celle de 1980.



Chapitre VI: CONCLUSION.

La connaissance de l'importance relative de la nappe d'eau souterraine dans le régime hydrologique d'un bassin versant s'avère très souvent primordiale dans la gestion de certaines infrastructures sur les bassins versants et particulièrement sur le bassin versant de Rwegura, où a été implanté un barrage hydro-électrique de première importance pour le pays.

La présente étude nous a permis de modéliser de façon satisfaisante le comportement hydrologique du bassin versant de Rwegura et le modèle CEQUEAU s'y prête assez bien. Ainsi sera mis à la disposition des gestionnaires et autres utilisateurs, un outil, sans doute sujet à amélioration, mais suffisamment solide pour fournir une information nouvelle et de bonne qualité dans la problématique de gestion des cours d'eau sur les bassins versants et plus particulièrement sur le bassin versant de Rwegura.

Les résultats de l'étude montrent que la nappe d'eau souterraine contribue de façon significative (50% à 60%) au régime hydrologique de ce bassin versant. En outre, la nappe garantit un débit minimal relativement important de 0.70 m^3/sec durant les trois à quatre mois où les précipitations sont presque nulles. Une autre chose à remarquer aussi est que le débit d'étiage baisse peu pendant cette période-là. De même, on note que l'évapotranspiration sur ce bassin versant représente une proportion relativement importante (60% à 70%) du bilan hydrique. Les scénarios simulés avec des séquences de quatre années (1980 - 1983) de précipitations uniformément déficitaires montrent que ces déficits (diminution d'un même pourcentage sur une certaine séquence d'années) produisent une baisse du volume d'eau écoulé proportionnellement plus importante qui a tendance à s'amplifier au fur et à mesure des années. Les déficits d'écoulement sont plus accentués la première année que les années suivantes. La nappe d'eau souterraine s'épuiserait complètement après une séquence de deux

ans (1980 - 1981) sans précipitation, la première année accusant un déficit d'écoulement de l'ordre de 70%, la seconde un déficit de l'ordre de 95%. Dans les autres cas, la nappe et donc le bassin versant mettrait plus de quatre années pour atteindre un nouvel état stationnaire d'écoulement.

Le modèle hydrologique CEQUEAU est un modèle existant depuis une vingtaine d'années et qui a fait ses preuves en termes de performance. Il a été appliqué avec succès à plusieurs bassins versants au Canada. Il a également été classé dans le cadre de l'intercomparaison des modèles de simulation hydrologique organisée par l'Organisation Météorologique Mondiale en 1986 (WMO. 1986). Toutefois, l'apprentissage du modèle et sa maîtrise sont parfois un peu ardus. Cette maîtrise doit nécessairement précéder l'étape du calage du modèle, afin de rendre celle-ci assez aisée et surtout bénéfique pour la bonne compréhension des multiples interactions qui existent entre les différents processus du régime hydrologique d'un bassin versant. Le modèle présente aussi une certaine difficulté quant à la constitution des nombreuses banques de données, ce qui constitue un risque d'introduire des erreurs parfois fatales et difficilement décelables lors des simulations. Ces remarques ne sont cependant pas spécifiques à ce modèle, et se retrouvent mises en cause dans la plupart des modèles hydrologiques qui nécessitent des quantintés importantes de données. Néanmoins, les récentes améliorations qui viennent d'être apportées à la version DOS du modèle, spécialement au niveau des programmes EPAR, et surtout la mise au point d'une version pour Windows sont de nature à faciliter énormément l'utilisation du modèle en mettant à la disposition de l'usager des interfaces graphiques souples, rendant ainsi la préparation des banques de données, l'analyse et l'interprétation des résultats beaucoup plus aisées, ce qui engendre inévitablement une économie de temps considérable.

BIBLIOGRAPHIE

Carte Géologique du Burundi, Feuille de Mgoz, 1983

Carte Topographique, Institut Géographique du Burundi (IGEBU)

CRAFORD, N.H. et LINSLEY, R.K., 1963. Conceptual model of the hydrological cycle. Bull. I.A.S.H. n. 62

DREESEN, R. 1980. Shallow-Water deposits within the Burundian Proterozoic (Republic of Burundi, East-Africa). Bull. Soc. Belge Géol., t. 89, fasc.4, 217/238 p.

IWRA. International Water Ressources Association. 1989. The state-of-the-art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa: Proceedings of the Sahel Forum, Ouagadougou, Burkina Faso. 990 p.

GIRARD, G., LEDOUX, E. et VILLENEUVE, J.-P. 1981. Le modèle couplé. Simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un système hydrologique. Cahier ORSTOM. Sér. Hydrol. 18(4): 195-279.

LLAMAS, J. 1985. Hydrologie Générale: Principes et applications. Boucherville, Québec: Gaétan Morin, 527 p.

MICHEL, C. et MAILFOL, J.C. 1985. Journées hydrologiques de l'ORSTOM. pp 266-271.

MORIN, G. et al. 1981. Modèle Hydrologique CEQUEAU: Manuel d'utilisation. Université du Québec, INRS-EAU. 449p.

ORSTOM. 1985. Journées hydrologiques de l'ORSTOM, 297 p.

RÉMÉNIÉRAS, G. 1965. L' Hydrologie de l'ingénieur. Paris : Eyrolles, 456 p.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. 1975. Program description and users manual for the SSARR model. North Pacific Division Portland, Oregon, USA.

ROSENBROCK, H. 1960. An Automatic Method for Function Minimization. Computer Journal, 3. 175p.

SERVAT, E. et DEZETTER, A. 1989. Modélisation globale de la relation pluie-débit: Des outils au service de l'évaluation des ressources en eau. Proceedings of the Sahel Forum, Ouagadougou, Burkina Faso. pp 740-749.

VANDENBERG, A. 1989. Modèle physique de l'infiltration, du drainage et du ruissellement dans des sols à couches multiples. Institut National de la Recherhe en Hydrologie, Saskatoon, Saskatchéwan. 66 p.

WMO. 1986. Intercomparison of models of snowmelt runoff, Operational Hydrology Report N^0 23WMO-N^0 646. Secretariat of World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

ANNEXE A

Précipitations journalières pour les années 1980 - 1983.

Station : Rwegura
Paramètre: Précipitations (mm)

Année : 1980

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1		1,8	2,5	8,9		64,7						0,2
2		1,8	2,5			5,0						
3			6,0	14,0	1,5						4,9	
4			1,9	0,9	9,8						14,9	
5			5,9	6,2	14,4							4,0
6		24,8	2,2	1,8	1,5						2,8	1,4
7			16,2	29,6	0,3				1,4		3,7	23,3
8	16,9	1,1		21,7	3,0						15,2	
9	4,2				28,0				20,2		5,4	7,6
10		0,3		2,9	12,5				3,8		15,9	22,2
11	5,6		14,7	1,8	22,0				1,3	29,2		2,4
12		26,4	6,3	2,2	2,4				3,0	11,5	12,9	
13		2,3	33,8	11,2	2,5				0,8	21,1	1,0	8,3
14	1,0	0,6		0,6	1,5					18,4		0,4
15	1,2			8,0	1,2				2,9	12,1	3,0	1,3
16		0,9		9,3	9,0					2,4		8,7
17	9,5			2,0							7,9	
18		7,6							1,9	5,6	23,2	16,2
19	32,2	1,1		0,6	0,6				2,2	0,2	19,8	11,2
20					2,5					0,9	0,2	
21				1,9						4,5	8,4	
22	23,5	0,3	4,0	2,3						0,5	7,6	2,8
23	12,0		11,0	0,2					0,9	0,2	3,0	
24	12,0	0,2	9,2					6,5	8,0	3,8	3,6	11,6
25	0,4		16,6	2,3	0,6					5,6		1,4
26	2,0	25,9	3,1	10,3						1,8	10,2	0,9
27		1,9	3,9	3,6					15,3	5,2	5,9	0,8
28		1,6	1,3		3,2				1,1	11,7	8,7	
29	31,4	44,3	19,0		10,4			2,6		2,5	3,4	
30	0,4		3,5		16,4				11,8	35,4		
31	4,3		11,3		9,7							7,1
TOT	156,6	142,8	174,9	140,3	152,0	69,7	0,0	9,3	74,6	173,6	181,6	131,8
TAN	1407,2											

Année: 1982

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1,8	0,9		47,5	3,8	35,3				3,1	8,2	11,7
2		3,7		44,4	2,8	0,5						10,4
3	11,6			13,3	20,0						8,7	4,3
4	4,2		7,0	1,9						2,8	21,2	5,6
5			0,3	9,1	16,4				9,4	1,2	0,5	1,3
6	5,6	12,2			8,5						9,6	
7	3,7	3,6	28,8	3,5	0,3	3,2			1,2		2,1	
8			0,3	8,5					8,9		1,6	9,0
9		0,2		4,2	5,4				8,6		35,7	
10					44,0				9,4	3,2		0,4
11	1,5	1,4			3,2				9,0	19,2	13,5	50,8
12	7,5	21,7			5,0					3,4	5,0	15,1
13		5,7	1,0		4,3					1,5	4,0	7,0
14	15,9	9,5		14,9	11,2						0,8	
15	10,0		38,3	14,8	11,8					5,9	14,3	3,4
16	5,3		6,6	0,9	3,4				27,5	9,2	7,0	
17	0,3	10,0	5,5	7,4	2,4				0,5	3,2	1,9	
18	7,0			11,8		0,4			3,0	4,0	7,2	
19	0,5			44,3	2,1				4,5	17,5	31,7	12,5
20	2,7		16,9	1,4	8,4				9,9	17,7		36,7
21	57,1			35,5					12,4	4,9	11,0	1,0
22			4,7	5,2					31,5	21,0	4,0	9,5
23	1,3	1,3		8,5					7,8	5,9	1,0	2,9
24	4,8			7,5						10,8	12,5	17,2
25		0,5		14,6						6,9	6,7	27,6
26									11,8	7,0	46,7	0,4
27			1,7	3,1	1,2				0,6	2,0	2,7	
28	11,7		59,7	30,7	9,2				0,2		52,6	11,0
29				8,7						4,0	3,6	1,0
30	12,4									4,5	34,3	
31			35,3		4,3			5,2		11,0		
Total	164,9	69,7	206,1	341,7	167,7	39,4	0,0	5,2	156,2	169,9	346,1	238,8
Tot an.	1905,7											

Année: 1981

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	6,0	1,8	2,3	0,4					12,0	9,8	0,5	3,0
2	9,4	4,8	0,4	5,3	9,1				18,0			
3	9,6		10,0	12,0	20,0	4,4				2,3		
4	5,2										13,0	
5				2,4	13,0							4,5
6	22,0		0,3	17,0	12,0						0,5	9,7
7		7,3	14,0		5,7					0,2		8,4
8	11,0		11,0		2,0				7,1		4,0	10,0
9	7,2	5,4	11,0	0,2	22,0				9,0	8,8		2,0
10	1,2	12,0	0,6	1,0	2,8				11,0	5,2	6,5	1,6
11		0,7	0,2	30,0	7,9				16,0		2,3	5,5
12	29,0			9,9	13,0			1,3	4,3	4,7	1,9	
13	12,0		1,9	34,0	3,0			5,0	7,7		12,0	0,8
14	3,8		17,0	0,7	15,0				7,0		2,3	3,0
15		9,0	15,0	0,3	16,0			0,5	2,2		6,3	
16	0,3	10,0	1,9	39,0	20,0			45,0		1,2		23,0
17	4,2	1,6	16,0	7,3	0,6			19,0				4,4
18		3,6		0,8	2,1			17,0		4,0		9,8
19	5,2		16,0	8,2				1,9		4,2	3,4	7,2
20			2,1							1,0		7,4
21	13,0		0,5	4,2					4,5	5,4		7,8
22	7,8		1,0	5,0					1,2		0,3	0,5
23			10,0	0,6						0,6	2,0	
24	0,4	0,6	12,0	3,5							0,2	
25	1,2	5,6	0,3	0,3						42,0	1,2	
26	1,7	1,3	1,7	25,0				8,5		12,0	1,0	27,0
27			1,0	4,7	0,9					19,0	41,0	11,0
28	8,3		35,0					2,9		0,9	33,0	0,3
29			1,4	5,5	1,8			15,0		16,0	0,8	
30	0,4							0,5		0,2		5,2
31				0,4						22,0		13,0
TOT	156,9	63,7	186,6	217,7	166,9	4,4	0,0	116,6	100,0	159,5	134,2	164,1
Tot an.	1470,6											

Année: 1983

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1,4		13,2	1,9	15,8						20,4	2,6
2		1,7	4,1	6,0	12,5					0,9	1,2	0,2
3		2,9	0,7	12,8	0,6							12,3
4				23,4	12,0				3,5	35,5		
5	1,4	16,8	9,8	14,8	9,8					3,3	1,3	4,6
6	4,2	0,7	0,2		4,4	4,2		6,8	0,9	10,0	9,8	
7	1,0		0,8		0,3					8,4	14,4	1,8
8	0,6			2,2				9,0		1,0		5,9
9	0,4		0,3					10,8		22,7	0,9	0,4
10		43,2						1,1		0,8		14,4
11		4,2	3,6		10,3					6,1	1,2	0,5
12		0,2	15,7	6,8	1,4				22,7	3,1	17,8	
13		1,6	7,4	11,4					0,3	12,9	1,3	28,8
14	0,2	6,2	9,7	20,9					4,0		1,1	
15	0,5			15,6						7,4		2,1
16		4,6	10,2	9,9						0,8	7,5	
17			9,9					0,4	1,6	19,8	6,7	8,3
18	0,5	14,2	0,3							3,9	11,1	5,7
19	15,2	2,7	19,8	5,6							4,8	1,8
20			10,3	7,5						0,5	0,7	6,0
21			3,9	11,0		5,3				31,7	15,3	5,5
22				28,7		0,2				10,3	10,9	7,3
23				14,4		4,8			17,4	0,2	4,3	32,6
24			0,3	47,6	10,1				8,7	1,7		7,2
25		0,4	57,8	0,7					16,7			8,4
26				19,8	15,0					0,5	0,4	1,7
27				17,6						11,1	4,4	27,0
28	2,2	4,0		5,8						11,0	0,2	4,4
29	44,4		7,8	31,4						0,3	7,2	14,0
30			16,6	0,9	0,7						6,2	
31												3,9
TOT	72,0	103,4	201,4	317,0	92,9	14,5	0,0	28,1	75,8	203,9	149,1	207,4
Tot an.	1465,5											

ANNEXE B

Lectures d'échelle journalières (m) à la station hydrométrique de Rwegura pour les années 1980 - 1983.

Station : Rwegura
Paramètre : Lectures d'échelle (m)

Année : 1980

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.20	0.34	0.61	0.40	0.28	0.47	0.22	0.18	0.18	0.30	0.20	0.26
2	0.21	0.30	0.65	0.37	0.30	1.00	0.21	0.18	0.18	0.18	0.19	0.22
3	0.22	0.30	0.55	0.34	0.30	0.51	0.22	0.18	0.18	0.17	0.24	0.22
4	0.21	0.26	0.46	0.31	0.35	0.39	0.22	0.18	0.18	0.17	0.24	0.22
5	0.22	0.25	0.45	0.29	0.39	0.35	0.21	0.18	0.18	0.17	0.21	0.31
6	0.21	0.34	0.42	0.36	0.42	0.29	0.21	0.18	0.18	0.17	0.26	0.29
7	0.20	0.35	0.41	0.61	0.35	0.26	0.21	0.18	0.18	0.17	0.21	0.46
8	0.20	0.30	0.35	0.75	0.31	0.30	0.21	0.18	0.18	0.17	0.27	0.40
9	0.29	0.30	0.29	0.65	0.46	0.30	0.21	0.18	0.18	0.17	0.31	0.36
10	0.30	0.22	0.28	0.39	0.42	0.30	0.21	0.18	0.21	0.17	0.31	0.43
11	0.21	0.31	0.31	0.39	0.47	0.30	0.21	0.18	0.18	0.23	0.30	0.32
12	0.20	0.25	0.51	0.41	0.46	0.29	0.21	0.18	0.21	0.20	0.27	0.30
13	0.20	0.31	0.45	0.44	0.41	0.24	0.20	0.18	0.20	0.20	0.23	0.33
14	0.20	0.24	0.47	0.40	0.44	0.24	0.20	0.18	0.18	0.25	0.25	0.31
15	0.20	0.26	0.35	0.35	0.39	0.24	0.20	0.18	0.19	0.25	0.22	0.29
16	0.20	0.26	0.31	0.39	0.46	0.24	0.20	0.18	0.19	0.39	0.36	0.32
17	0.20	0.25	0.25	0.40	0.31	0.21	0.20	0.18	0.18	0.36	0.42	0.28
18	0.22	0.22	0.24	0.35	0.31	0.20	0.20	0.18	0.18	0.36	0.49	0.26
19	0.23	0.21	0.28	0.35	0.30	0.20	0.20	0.18	0.18	0.35	0.55	0.50
20	0.26	0.21	0.28	0.30	0.30	0.20	0.20	0.18	0.18	0.21	0.61	0.38
21	0.22	0.20	0.28	0.30	0.30	0.20	0.20	0.18	0.18	0.29	0.42	0.30
22	0.21	0.21	0.28	0.30	0.29	0.21	0.20	0.18	0.18	0.27	0.31	0.27
23	0.29	0.21	0.25	0.30	0.28	0.21	0.20	0.18	0.17	0.36	0.36	0.29
24	0.36	0.20	0.35	0.27	0.28	0.21	0.19	0.18	0.18	0.36	0.35	0.32
25	0.31	0.20	0.37	0.28	0.30	0.21	0.19	0.18	0.18	0.35	0.30	0.33
26	0.31	0.26	0.45	0.29	0.28	0.21	0.19	0.18	0.19	0.31	0.35	0.38
27	0.31	0.35	0.35	0.26	0.28	0.21	0.18	0.18	0.20	0.39	0.45	0.36
28	0.32	0.35	0.45	0.30	0.28	0.21	0.18	0.18	0.21	0.30	0.41	0.30
29	0.43	0.30	0.40	0.28	0.28	0.22	0.18	0.18	0.21	0.29	0.35	0.26
30	0.35		0.51	0.28		0.22	0.18	0.18	0.24	0.29	0.27	0.22
31	0.35		0.45				0.18	0.18		0.28		0.21
moy	0.25	0.27	0.39	0.37	0.34	0.29	0.20	0.18	0.19	0.26	0.32	0.31

Année: 1981

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.30	0.21	0.20	0.35	0.29	0.33	0.22	0.20	0.27	0.26	0.31	0.23
2	0.29	0.21	0.22	0.30	0.26	0.31	0.22	0.20	0.29	0.25	0.22	0.22
3	0.31	0.21	0.21	0.29	0.47	0.46	0.22	0.20	0.29	0.19	0.19	0.21
4	0.26	0.20	0.25	0.29	0.43	0.40	0.22	0.20	0.27	0.20	0.19	0.20
5	0.21	0.21	0.22	0.31	0.42	0.30	0.22	0.20	0.28	0.20	0.19	0.20
6	0.34	0.20	0.22	0.25	0.44	0.29	0.22	0.20	0.28	0.19	0.18	0.22
7	0.32	0.22	0.33	0.26	0.47	0.29	0.22	0.20	0.26	0.19	0.18	0.24
8	0.24	0.22	0.30	0.23	0.53	0.29	0.20	0.20	0.27	0.18	0.18	0.24
9	0.28	0.22	0.32	0.21	0.52	0.28	0.20	0.20	0.29	0.19	0.29	0.26
10	0.24	0.27	0.30	0.38	0.46	0.26	0.20	0.18	0.45	0.19	0.29	0.26
11	0.21	0.26	0.35	0.41	0.50	0.25	0.20	0.18	0.29	0.18	0.22	0.24
12	0.23	0.21	0.29	0.67	0.63	0.25	0.20	0.18	0.29	0.18	0.21	0.23
13	0.30	0.20	0.26	0.60	0.64	0.25	0.20	0.18	0.29	0.19	0.27	0.22
14	0.32	0.20	0.39	0.41	0.65	0.25	0.20	0.18	0.29	0.19	0.30	0.21
15	0.30	0.21	0.41	1.11	0.56	0.25	0.20	0.18	0.31	0.19	0.29	0.21
16	0.27	0.24	0.36	1.29	0.70	0.25	0.20	0.20	0.28	0.18	0.23	0.24
17	0.24	0.29	0.38	0.96	0.79	0.25	0.20	0.25	0.26	0.18	0.20	0.31
18	0.22	0.24	0.30	0.68	0.65	0.24	0.21	0.32	0.25	0.19	0.19	0.31
19	0.21	0.26	0.30	0.45	0.49	0.23	0.21	0.25	0.24	0.19	0.19	0.33
20	0.27	0.23	0.34	0.46	0.44	0.23	0.20	0.20	0.24	0.19	0.19	0.32
21	0.31	0.20	0.36	0.42	0.39	0.23	0.20	0.18	0.22	0.20	0.18	0.32
22	0.29	0.20	0.40	0.41	0.39	0.23	0.20	0.18	0.22	0.20	0.18	0.30
23	0.30	0.19	0.45	0.39	0.38	0.22	0.20	0.19	0.20	0.19	0.20	0.29
24	0.31	0.20	0.60	0.40	0.38	0.22	0.20	0.20	0.19	0.20	0.19	0.22
25	0.30	0.21	0.49	0.40	0.33	0.22	0.20	0.19	0.18	0.22	0.20	0.21
26	0.33	0.20	0.39	0.43	0.31	0.22	0.20	0.19	0.18	0.22	0.19	0.26
27	0.28	0.19	0.25	0.42	0.31	0.22	0.20	0.18	0.21	0.28	0.27	0.29
28	0.24	0.20	0.35	0.42	0.32	0.22	0.20	0.19	0.20	0.38	0.37	0.29
29	0.24		0.45	0.33	0.33	0.22	0.20	0.20	0.20	0.40	0.35	0.29
30	0.23		0.36	0.30	0.36	0.22	0.20	0.20	0.21	0.40	0.24	0.30
31	0.21		0.31		0.34		0.20	0.21		0.40		0.31
moy	0.27	0.21	0.33	0.46	0.46	0.26	0.21	0.20	0.26	0.23	0.23	0.26

Année: 1982

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.31	0.22	0.21	0.69	0.50	0.33	0.22	0.20	0.18	0.18	0.32	0.53
2	0.27	0.22	0.21	0.99	0.48	0.36	0.22	0.20	0.18	0.18	0.27	0.57
3	0.37	0.21	0.27	1.09	0.50	0.36	0.21	0.19	0.18	0.18	0.29	0.73
4	0.32	0.20	0.37	0.71	0.44	0.34	0.21	0.19	0.19	0.19	0.30	0.40
5	0.26	0.21	0.34	0.61	0.51	0.32	0.21	0.19	0.19	0.19	0.36	0.55
6	0.23	0.22	0.40	0.48	0.60	0.31	0.21	0.20	0.18	0.18	0.30	0.40
7	0.24	0.21	0.40	0.40	0.58	0.30	0.21	0.20	0.18	0.21	0.23	0.30
8	0.23	0.21	0.40	0.40	0.47	0.29	0.21	0.20	0.18	0.21	0.23	0.30
9	0.22	0.20	0.32	0.38	0.41	0.28	0.21	0.20	0.18	0.21	0.26	0.29
10	0.20	0.22	0.37	0.31	0.56	0.25	0.21	0.20	0.18	0.21	0.24	0.24
11	0.22	0.21	0.23	0.30	0.68	0.24	0.21	0.19	0.18	0.29	0.39	0.27
12	0.28	0.22	0.21	0.32	0.59	0.22	0.21	0.19	0.18	0.28	0.49	0.45
13	0.35	0.23	0.20	0.31	0.42	0.22	0.21	0.19	0.18	0.22	0.41	0.49
14	0.35	0.27	0.21	0.31	0.41	0.22	0.20	0.19	0.18	0.24	0.30	0.42
15	0.30	0.29	0.25	0.40	0.37	0.22	0.20	0.19	0.18	0.24	0.30	0.33
16	0.32	0.29	0.25	0.43	0.36	0.22	0.20	0.19	0.18	0.26	0.30	0.30
17	0.26	0.30	0.23	0.41	0.35	0.22	0.20	0.19	0.18	0.24	0.30	0.24
18	0.22	0.29	0.21	0.41	0.32	0.22	0.20	0.19	0.24	0.28	0.32	0.21
19	0.21	0.23	0.20	0.53	0.37	0.22	0.20	0.19	0.22	0.30	0.38	0.27
20	0.23	0.20	0.28	0.44	0.35	0.21	0.20	0.19	0.21	0.27	0.30	0.33
21	0.49	0.20	0.33	0.68	0.37	0.21	0.20	0.19	0.21	0.29	0.25	0.31
22	0.33	0.21	0.32	0.94	0.37	0.21	0.20	0.19	0.21	0.30	0.22	0.41
23	0.23	0.21	0.30	0.56	0.37	0.21	0.20	0.19	0.20	0.31	0.34	0.44
24	0.23	0.20	0.27	0.53	0.34	0.21	0.20	0.19	0.20	0.29	0.32	0.44
25	0.22	0.20	0.22	0.53	0.32	0.21	0.20	0.19	0.20	0.37	0.35	0.47
26	0.21	0.20	0.21	0.52	0.32	0.21	0.20	0.19	0.19	0.36	0.40	0.44
27	0.21	0.20	0.21	0.51	0.35	0.21	0.20	0.19	0.20	0.31	0.47	0.32
28	0.23	0.21	0.29	0.50	0.40	0.21	0.20	0.18	0.20	0.36	0.62	0.29
29	0.21		0.39	0.50	0.39	0.21	0.20	0.18	0.19	0.32	0.67	0.33
30	0.23		0.27	0.50	0.38	0.21	0.20	0.18	0.18	0.39	0.60	0.34
31	0.21		0.40		0.33		0.20	0.18		0.34		0.36
moy	0.26	0.21	0.28	0.52	0.43	0.25	0.20	0.19	0.19	0.26	0.34	0.38

Année: 1983

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.37	0.22	0.28	0.38	0.88	0.30	0.40	0.39	0.38	0.45	0.50	0.45
2	0.41	0.22	0.38	0.40	0.93	0.27	0.39	0.39	0.38	0.48	0.50	0.47
3	0.34	0.23	0.37	0.35	1.04	0.27	0.40	0.39	0.38	0.45	0.50	0.45
4	0.30	0.22	0.30	0.33	1.08	0.26	0.40	0.39	0.40	0.45	0.54	0.44
5	0.30	0.27	0.29	0.79	0.77	0.24	0.41	0.38	0.42	0.45	0.54	0.44
6	0.35	0.25	0.25	0.54	0.55	0.23	0.40	0.38	0.42	0.47	0.53	0.45
7	0.33	0.28	0.27	0.30	0.45	0.23	0.40	0.38	0.42	0.48	0.56	0.49
8	0.31	0.26	0.29	0.29	0.35	0.23	0.40	0.40	0.40	0.49	0.54	0.50
9	0.29	0.24	0.29	0.27	0.41	0.25	0.39	0.48	0.39	0.64	0.55	0.49
10	0.24	0.26	0.26	0.23	0.42	0.36	0.39	0.53	0.39	1.02	0.52	0.48
11	0.21	0.31	0.42	0.22	0.43	0.37	0.39	0.45	0.38	1.10	0.54	0.46
12	0.20	0.34	0.65	0.23	0.46	0.30	0.39	0.42	0.80	0.97	0.53	0.45
13	0.20	0.34	0.42	0.30	0.43	0.28	0.39	0.42	0.60	0.95	0.55	0.41
14	0.21	0.35	0.36	0.41	0.42	0.28	0.39	0.41	0.43	0.68	0.52	0.47
15	0.22	0.38	0.33	0.40	0.40	0.28	0.39	0.41	0.42	0.58	0.56	0.56
16	0.23	0.35	0.32	0.41	0.40	0.28	0.39	0.41	0.40	0.62	0.59	0.59
17	0.23	0.31	0.36	0.40	0.40	0.28	0.39	0.40	0.39	0.78	0.61	0.57
18	0.23	0.30	0.34	0.33	0.37	0.28	0.39	0.41	0.38	0.86	0.61	0.58
19	0.23	0.32	0.39	0.31	0.35	0.27	0.39	0.41	0.38	0.88	0.60	0.58
20	0.22	0.39	0.87	0.34	0.33	0.27	0.39	0.43	0.37	0.88	0.58	0.55
21	0.22	0.36	0.79	0.43	0.32	0.28	0.39	0.42	0.37	0.87	0.56	0.52
22	0.22	0.34	0.46	0.70	0.32	0.30	0.39	0.42	0.36	0.80	0.54	
23	0.22	0.32	0.37	0.67	0.31	0.29	0.39	0.42	0.35	0.85	0.52	
24	0.22	0.30	0.29	0.65	0.32	0.28	0.39	0.40	0.37	0.86	0.51	
25	0.22	0.29	0.29	0.72	0.35	0.28	0.39	0.39	0.51	0.79	0.53	
26	0.22	0.28	0.28	0.83	0.35	0.27	0.39	0.39	0.52	0.82	0.53	
27	0.22	0.24	0.26	0.89	0.33	0.27	0.39	0.39	0.48	0.83	0.52	
28	0.23	0.22	0.26	0.99	0.32	0.27	0.39	0.38	0.46	0.79	0.52	
29	0.27		0.42	1.06	0.32	0.26	0.38	0.38	0.44	0.75	0.54	
30	0.24		0.37	0.95	0.31	0.34	0.38	0.38	0.42	0.66	0.52	
31	0.22		0.34		0.30		0.38	0.38		0.57		
moy	0.26	0.29	0.37	0.50	0.47	0.28	0.39	0.41	0.43	0.72	0.54	0.47

ANNEXE C

Débits journaliers (m^3/sec) pour les années 1980 - 1983.

Station : Rwegura
Paramètre : Débits

Année : 1980

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0.87	1.66	3.16	1.99	1.32	2.38	0.98	0.75	0.75	1.43	0.87	1.21
2	0.92	1.43	3.38	1.82	1.43	5.30	0.92	0.75	0.75	0.75	0.81	0.98
3	0.98	1.43	2.82	1.66	1.43	2.60	0.98	0.75	0.75	0.70	1.09	0.98
4	0.92	1.21	2.32	1.49	1.71	1.94	0.98	0.75	0.75	0.70	1.09	0.98
5	0.98	1.15	2.27	1.38	1.94	1.71	0.92	0.75	0.75	0.70	0.92	1.49
6	0.92	1.66	2.10	1.77	2.10	1.38	0.92	0.75	0.75	0.70	1.21	1.38
7	0.87	1.71	2.05	3.16	1.71	1.21	0.92	0.75	0.75	0.70	0.92	2.32
8	0.87	1.43	1.71	3.93	1.49	1.43	0.92	0.75	0.75	0.70	1.26	1.99
9	1.38	1.43	1.38	3.38	2.32	1.43	0.92	0.75	0.75	0.70	1.49	1.77
10	1.43	0.98	1.32	1.94	2.10	1.43	0.92	0.75	0.92	0.70	1.49	2.16
11	0.92	1.49	1.49	1.94	2.38	1.38	0.92	0.75	0.75	1.04	1.43	1.54
12	0.87	1.15	2.60	2.05	2.32	1.38	0.92	0.75	0.92	0.87	1.26	1.43
13	0.87	1.49	2.27	2.21	2.05	1.09	0.87	0.75	0.87	0.87	1.04	1.60
14	0.87	1.09	2.38	1.99	2.21	1.09	0.87	0.75	0.75	1.15	1.15	1.49
15	0.87	1.21	1.71	1.71	1.94	1.09	0.87	0.75	0.81	1.15	0.98	1.38
16	0.87	1.21	1.49	1.94	2.32	1.09	0.87	0.75	0.81	1.94	1.77	1.54
17	0.87	1.15	1.15	1.99	1.49	0.92	0.87	0.75	0.75	1.77	2.10	1.32
18	0.98	0.98	1.09	1.71	1.49	0.87	0.87	0.75	0.75	1.77	2.49	1.21
19	1.04	0.92	1.32	1.71	1.43	0.87	0.87	0.75	0.75	1.71	2.82	2.55
20	1.21	0.92	1.32	1.43	1.43	0.87	0.87	0.75	0.75	0.92	3.16	1.88
21	0.98	0.87	1.32	1.43	1.43	0.87	0.87	0.75	0.75	1.38	2.10	1.43
22	0.92	0.92	1.32	1.43	1.38	0.92	0.87	0.75	0.75	1.26	1.49	1.26
23	1.38	0.92	1.15	1.43	1.32	0.92	0.87	0.75	0.70	1.77	1.77	1.38
24	1.77	0.87	1.71	1.26	1.32	0.92	0.81	0.75	0.75	1.77	1.71	1.54
25	1.49	0.87	1.82	1.32	1.43	0.92	0.81	0.75	0.75	1.71	1.43	1.60
26	1.49	1.21	2.27	1.38	1.32	0.92	0.81	0.75	0.81	1.49	1.71	1.88
27	1.49	1.71	1.71	1.21	1.32	0.92	0.75	0.75	0.87	1.94	2.27	1.77
28	1.54	1.71	2.27	1.43	1.32	0.92	0.75	0.75	0.92	1.43	2.05	1.43
29	2.16	1.43	1.99	1.32	1.32	0.98	0.75	0.75	0.92	1.38	1.71	1.21
30	1.71		2.60	1.32		0.98	0.75	0.75	1.09	1.38	1.26	0.98
31	1.71		2.27				0.75	0.75		1.32		0.92
moy	1.17	1.25	1.93	1.76	1.57	1.31	0.87	0.75	0.77	1.22	1.51	1.50
mm	36.69	36.77	63.99	58.57	52.22	43.64	26.92	25.03	25.66	40.42	50.18	49.88

Année : 1981

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.43	0.92	0.87	1.71	1.38	1.60	0.98	0.87	1.26	1.21	1.49	1.04
2	1.38	0.92	0.98	1.43	1.21	1.49	0.98	0.87	1.38	1.15	0.98	0.98
3	1.49	0.92	0.92	1.38	2.38	2.32	0.98	0.87	1.38	0.81	0.81	0.92
4	1.21	0.87	1.15	1.38	2.16	1.99	0.98	0.87	1.26	0.87	0.81	0.87
5	0.92	0.92	0.98	1.49	2.10	1.43	0.98	0.87	1.32	0.87	0.81	0.87
6	1.66	0.87	0.98	1.15	2.21	1.38	0.98	0.87	1.32	0.81	0.75	0.98
7	1.54	0.98	1.60	1.21	2.38	1.38	0.98	0.87	1.21	0.81	0.75	1.09
8	1.09	0.98	1.43	1.04	2.71	1.38	0.87	0.87	1.26	0.75	0.75	1.09
9	1.32	0.98	1.54	0.92	2.66	1.32	0.87	0.87	1.38	0.81	1.38	1.21
10	1.09	1.26	1.43	1.88	2.32	1.21	0.87	0.75	2.27	0.81	1.38	1.21
11	0.92	1.21	1.71	2.05	2.55	1.15	0.87	0.75	1.38	0.75	0.98	1.09
12	1.04	0.92	1.38	3.49	3.27	1.15	0.87	0.75	1.38	0.75	0.92	1.04
13	1.43	0.87	1.21	3.10	3.32	1.15	0.87	0.75	1.38	0.81	1.26	0.98
14	1.54	0.87	1.94	2.05	3.38	1.15	0.87	0.75	1.38	0.81	1.43	0.92
15	1.43	0.92	2.05	5.90	2.88	1.15	0.87	0.75	1.49	0.81	1.38	0.92
16	1.26	1.09	1.77	6.88	3.65	1.15	0.87	0.87	1.32	0.75	1.04	1.09
17	1.09	1.38	1.88	5.06	4.15	1.15	0.87	1.15	1.21	0.75	0.87	1.49
18	0.98	1.09	1.43	3.54	3.38	1.09	0.92	1.54	1.15	0.81	0.81	1.49
19	0.92	1.21	1.43	2.27	2.49	1.04	0.92	1.15	1.09	0.81	0.87	1.60
20	1.26	1.04	1.66	2.32	2.21	1.04	0.87	0.75	1.09	0.81	0.81	1.54
21	1.49	0.87	1.77	2.10	1.94	1.04	0.87	0.75	1.09	0.87	0.75	1.54
22	1.38	0.87	1.99	2.05	1.94	1.04	0.87	0.75	0.98	0.87	0.75	1.43
23	1.43	0.81	2.27	1.94	1.88	0.98	0.87	0.81	0.87	0.81	0.87	1.38
24	1.49	0.87	3.10	1.99	1.88	0.98	0.87	0.87	0.81	0.87	0.81	0.98
25	1.43	0.92	2.49	1.99	1.60	0.98	0.87	0.81	0.75	0.98	0.87	0.92
26	1.60	0.87	1.94	2.16	1.49	0.98	0.87	0.81	0.75	0.98	0.81	1.21
27	1.32	0.81	1.15	2.10	1.49	0.98	0.87	0.75	0.92	1.32	1.26	1.38
28	1.09	0.87	1.71	2.10	1.54	0.98	0.87	0.81	0.87	1.88	1.82	1.38
29	1.09		2.27	1.60	1.60	0.98	0.87	0.87	0.87	1.99	1.71	1.38
30	1.04		1.77	1.43	1.77	0.98	0.87	0.87	0.92	1.99	1.09	1.43
31	0.92		1.49		1.66		0.87	0.92		1.99		1.49
moy	1.27	0.90	1.62	2.32	2.31	1.22	0.90	0.86	1.19	1.01	1.03	1.19
mm	42.05	29.02	53.64	74.66	76.64	39.23	29.81	28.70	38.26	33.52	33.21	39.55

Année : 1982

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.49	0.98	0.92	3.60	2.55	1.60	0.98	0.87	0.75	0.75	1.54	2.71
2	1.26	0.98	0.92	5.24	2.44	1.77	0.98	0.87	0.75	0.75	1.26	2.93
3	1.82	0.92	1.26	5.79	2.55	1.77	0.92	0.81	0.75	0.75	1.38	3.82
4	1.54	0.87	1.82	3.71	2.21	1.66	0.92	0.81	0.81	0.81	1.49	3.93
5	1.21	0.92	1.66	3.16	2.60	1.54	0.92	0.81	0.81	0.81	1.77	2.82
6	1.04	0.98	1.99	2.44	3.10	1.49	0.92	0.87	0.75	0.75	1.43	1.99
7	1.09	0.92	1.99	1.99	2.99	1.43	0.92	0.87	0.75	0.75	1.43	1.38
8	1.04	0.92	1.99	1.99	2.38	1.38	0.92	0.87	0.75	0.92	1.04	1.43
9	0.98	0.87	1.54	1.88	2.05	1.32	0.92	0.87	0.75	0.92	1.21	1.38
10	0.87	0.98	1.82	1.49	2.88	1.15	0.92	0.87	0.75	0.92	1.09	1.09
11	0.98	0.92	1.04	1.43	3.54	1.09	0.92	0.81	0.75	1.38	1.94	1.26
12	1.32	0.98	0.92	1.54	3.05	0.98	0.92	0.81	0.75	1.32	2.49	2.27
13	1.71	1.04	0.87	1.49	2.10	0.98	0.92	0.81	0.75	0.98	2.05	2.49
14	1.71	1.26	0.92	1.49	2.05	0.98	0.87	0.81	0.75	1.09	1.43	2.10
15	1.43	1.38	1.15	1.99	1.82	0.98	0.87	0.81	0.75	1.09	1.43	1.60
16	1.54	1.38	1.15	2.16	1.77	0.98	0.87	0.81	0.75	1.21	1.43	1.43
17	1.21	1.43	1.04	2.05	1.71	0.98	0.87	0.81	0.75	1.09	1.43	1.09
18	0.83	1.38	0.92	2.05	1.54	0.98	0.87	0.81	1.09	1.32	1.54	0.92
19	0.92	1.04	0.87	2.71	1.82	0.98	0.87	0.81	0.98	1.43	1.88	1.26
20	1.04	0.87	1.32	2.21	1.71	0.92	0.87	0.81	0.92	1.26	1.43	1.60
21	2.49	0.87	1.60	3.54	1.82	0.92	0.87	0.81	0.92	1.38	1.15	1.49
22	1.60	0.92	1.54	4.97	1.82	0.92	0.87	0.81	0.92	1.43	0.93	2.05
23	1.04	0.92	1.43	2.88	1.82	0.92	0.87	0.81	0.87	1.49	1.66	2.21
24	1.04	0.87	1.26	2.71	1.66	0.92	0.87	0.81	0.87	1.38	1.54	2.21
25	0.98	0.87	0.98	2.71	1.54	0.92	0.87	0.81	0.87	1.82	1.71	2.38
26	0.92	0.87	0.92	2.66	1.54	0.92	0.87	0.81	0.81	1.77	1.99	2.21
27	0.92	0.87	0.92	2.06	1.71	0.92	0.87	0.81	0.87	1.49	2.38	1.54
28	1.04	0.92	1.38	2.55	1.99	0.92	0.87	0.75	0.87	1.77	3.21	1.38
29	0.92		1.94	2.55	1.94	0.92	0.87	0.75	0.81	1.54	3.49	1.60
30	1.04		1.26	2.55	1.88	0.92	0.87	0.75	0.75	1.94	3.10	1.66
31	0.92		1.99		1.60		0.87	0.75		1.66		1.77
moy	1.22	1.00	1.33	2.65	2.13	1.14	0.89	0.82	0.81	1.22	1.73	1.94
mm	40.62	30.12	44.25	85.21	70.85	36.57	29.70	27.08	26.14	40.65	55.51	64.24

Année : 1983

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.82	0.98	1.32	1.88	4.64	1.43	1.99	1.94	1.88	2.27	2.55	2.27
2	2.05	0.98	1.88	1.99	4.91	1.26	1.94	1.94	1.88	2.44	2.55	2.38
3	1.66	1.04	1.82	1.71	5.52	1.26	1.99	1.94	1.88	2.27	2.55	2.27
4	1.43	0.98	1.43	1.60	5.73	1.21	1.99	1.94	1.99	2.27	2.60	2.21
5	1.43	1.26	1.38	4.15	4.04	1.09	2.05	1.88	2.10	2.27	2.60	2.21
6	1.71	1.15	2.77	2.82	1.04	1.99	1.88	2.10	2.38	2.38	2.71	2.77
7	1.60	1.32	1.26	1.43	2.27	1.04	1.99	1.88	2.10	2.44	2.88	2.49
8	1.49	1.21	1.38	1.38	1.71	1.04	1.99	1.99	1.99	2.49	2.77	2.55
9	1.38	1.09	1.38	1.26	2.05	1.15	1.94	2.44	1.94	3.32	2.82	2.49
10	1.09	1.21	1.21	1.04	2.10	1.77	1.94	2.71	1.94	5.41	2.66	2.44
11	0.92	1.49	2.10	0.98	2.16	1.82	1.94	2.27	1.88	5.84	2.77	2.32
12	0.87	1.66	3.38	1.04	2.32	1.43	1.94	2.10	4.20	5.13	2.71	2.27
13	0.87	1.66	2.10	1.43	2.16	1.32	1.94	2.10	3.10	5.02	2.82	2.05
14	0.92	1.71	1.77	2.05	2.10	1.32	1.94	2.05	2.16	3.54	2.66	2.38
15	0.98	1.88	1.60	1.99	1.99	1.32	1.94	2.05	2.10	2.99	2.88	2.88
16	1.04	1.71	1.54	2.05	1.99	1.32	1.94	2.05	1.99	3.21	3.05	3.05
17	1.04	1.49	1.77	1.99	1.99	1.32	1.94	1.99	1.94	4.09	3.16	2.93
18	1.04	1.43	1.66	1.60	1.82	1.32	1.94	2.05	1.88	4.53	3.16	2.99
19	1.04	1.54	1.94	1.49	1.71	1.26	1.94	2.05	1.88	4.64	3.10	2.99
20	0.98	1.94	4.59	1.66	1.60	1.26	1.94	2.16	1.82	4.64	2.99	2.82
21	0.98	1.77	4.15	2.16	1.54	1.32	1.94	2.10	1.82	4.59	2.88	2.66
22	0.98	1.66	2.32	3.65	1.54	1.43	1.94	2.10	1.77	4.20	2.77	
23	0.98	1.54	1.82	3.49	1.49	1.38	1.94	2.10	1.71	4.48	2.26	
24	0.98	1.43	1.38	3.38	1.54	1.32	1.94	1.99	1.82	4.53	2.60	
25	0.98	1.38	1.38	3.70	1.71	1.32	1.94	1.94	2.60	4.15	2.71	
26	0.98	1.32	1.32	4.37	1.71	1.26	1.94	1.94	2.66	4.26	2.71	
27	0.98	1.09	1.21	4.70	1.60	1.26	1.94	1.94	2.44	4.37	2.66	
28	1.04	0.98	1.21	5.24	1.54	1.26	1.94	1.88	2.32	4.15	2.66	
29	1.26		2.10	5.62	1.54	1.21	1.88	1.88	2.21	3.93	2.77	
30	1.09		1.82	5.02	1.49	1.66	1.88	1.88	2.10	3.43	2.66	
31	0.98		1.66		1.43		1.88	1.88		2.93		
moy	1.16	1.39	1.89	2.56	2.29	1.35	1.94	2.04	2.15	3.75	2.76	2.54
mm	39.17	41.65	62.79	82.30	75.99	43.20	64.52	67.73	69.03	124.42	88.51	57.19

ANNEXE D

Températures journalières maximales, minimales et moyennes pour les années 1980 - 1983

Station : Rwegura
Paramètre : Températures
Année : 1980

Températures maximales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	22.8	21.2	18.2	19.6	20.4	15.8	20.8	20.6	20.4	19.0	21.2	21.6
2	22.0	18.0	20.8	21.0	20.0	19.2	22.2	21.8	21.4	18.0	21.6	23.0
3	21.6	18.0	21.0	23.6	18.8	20.8	17.2	20.8	23.8	20.8	21.4	22.4
4	23.2	23.0	18.8	22.4	16.2	18.4	16.6	20.8	22.6	21.6	20.2	19.6
5	21.6	22.0	19.4	20.4	18.6	19.6	17.4	20.2	22.4	21.0	17.0	18.2
6	20.6	21.6	16.8	22.8	19.6	19.4	18.4	20.4	23.0	21.0	19.6	17.0
7	23.3	20.4	18.0	18.2	21.6	20.4	19.2	20.8	22.6	21.8	22.2	20.8
8	20.6	21.7	20.5	20.4	19.6	20.6	19.2	20.0	22.2	22.6	16.2	19.0
9	22.2	22.0	21.6	20.2	21.6	19.4	20.4	17.4	21.4	22.6	18.8	19.2
10	22.6	20.6	23.6	21.6	19.6	18.2	19.6	17.2	21.4	22.6	20.0	19.2
11	21.0	20.4	23.8	23.0	20.0	20.6	19.4	18.4	23.0	21.8	18.8	19.6
12	20.6	21.2	19.2	18.6	20.2	19.0	18.6	21.6	18.6	22.6	19.4	18.6
13	22.8	20.0	18.6	20.0	18.9	17.6	1.8	21.4	21.0	22.4	19.4	20.0
14	20.6	19.6	20.6	21.0	16.6	19.2	20.7	21.0	19.0	17.2	21.2	20.6
15	21.0	19.4	22.2	21.8	18.2	21.2	21.4	22.0	20.8	20.0	19.4	21.4
16	21.6	20.3	23.3	18.8	18.0	21.4	20.6	20.2	19.8	20.0	20.0	20.6
17	22.6	19.6	23.4	19.0	19.4	19.4	20.0	20.2	19.4	22.6	18.0	21.4
18	20.4	21.4	23.4	20.8	17.2	21.0	20.6	21.4	20.6	20.6	21.4	20.4
19	19.4	23.2	22.5	22.0	21.4	22.0	20.2	20.8	23.4	22.4	18.2	17.6
20	22.2	22.2	22.6	20.4	21.0	21.6	21.2	20.6	23.2	18.6	18.4	18.4
21	23.2	23.4	22.0	19.0	18.4	19.6	19.8	18.8	22.6	21.4	21.4	21.5
22	23.0	21.0	19.0	19.0	19.0	18.6	21.6	21.6	20.7	20.0	20.0	21.6
23	16.8	21.0	22.0	21.4	19.6	17.4	21.6	22.2	22.2	22.6	21.0	20.0
24	18.6	23.4	21.2	21.0	18.5	20.0	21.8	21.2	22.0	20.8	19.0	19.6
25	21.2	23.8	19.4	20.6	20.2	20.0	21.0	21.6	22.2	22.2	20.0	20.2
26	18.5	22.8	20.0	17.2	18.8	20.4	19.4	22.0	18.6	21.6	21.6	19.2
27	21.6	21.6	20.4	19.4	21.2	19.8	19.6	20.8	18.2	21.2	20.2	21.8
28	21.8	21.2	19.6	20.6	20.0	19.8	19.4	22.0	21.8	20.6	19.0	21.6
29	20.8	22.4	17.4	19.8	19.0	18.8	21.2	20.4	21.8	19.8	20.6	22.6
30	19.0		19.4	21.0	19.6	20.0	21.4	19.4	20.4	20.2	21.6	17.2
31	17.2		22.0		17.8		20.8	21.6		19.0		18.2
moy	21.1	21.3	20.7	20.5	19.3	19.6	19.5	20.6	21.4	20.9	19.9	20.1

Températures minimales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	11.0	12.0	11.6	11.4	12.0	12.2	11.2	10.8	11.6	10.6	12.6	11.8
2	12.0	10.8	10.4	12.8	11.2	9.6	10.2	11.0	12.2	12.4	11.6	12.2
3	11.8	11.8	10.6	10.0	12.6	11.2	9.8	10.8	12.4	12.0	11.0	12.0
4	10.6	10.4	10.4	11.8	12.0	10.6	9.6	10.2	11.4	12.0	12.2	12.2
5	11.2	11.2	12.2	12.2	11.0	9.6	10.6	10.6	11.2	12.4	11.2	12.2
6	13.0	11.6	11.4	11.4	12.0	10.4	10.4	10.6	11.2	12.2	12.2	10.8
7	12.4	11.4	9.8	10.2	12.6	10.6	10.6	11.2	11.4	11.6	11.6	10.6
8	10.4	12.4	10.7	11.2	12.8	11.2	11.0	10.6	10.6	12.4	10.4	10.4
9	10.8	12.0	10.3	11.6	11.6	10.6	10.4	10.4	10.0	13.0	11.0	12.2
10	11.4	12.2	10.0	12.0	12.4	9.8	10.2	9.6	11.4	11.2	11.2	11.6
11	10.4	11.2	13.2	11.6	11.0	10.4	10.0	11.0	12.0	11.6	12.0	11.4
12	12.2	11.0	11.2	12.2	12.0	9.8	10.3	11.2	12.4	10.2	12.6	10.8
13	11.4	11.4	10.0	10.8	11.6	10.4	10.0	11.4	11.8	12.0	11.4	11.2
14	14.0	10.6	10.0	11.6	13.0	10.7	10.0	12.2	11.6	11.8	11.2	11.4
15	12.3	10.8	10.8	12.6	12.4	10.4	10.2	11.2	14.0	12.0	12.4	10.8
16	12.4	11.0	12.6	11.2	11.2	10.2	10.0	11.2	12.4	10.6	11.0	11.0
17	12.5	10.2	12.0	11.4	12.2	11.4	9.8	10.4	13.4	11.8	11.0	10.4
18	10.8	10.6	13.0	11.2	12.4	11.4	9.4	11.4	12.0	11.0	10.2	11.0
19	10.2	11.8	11.6	11.8	12.0	11.4	9.6	11.4	12.4	11.8	10.4	11.2
20	11.0	12.4	10.6	12.6	10.6	10.8	9.0	10.6	11.8	11.8	11.2	11.2
21	10.8	11.4	12.2	13.0	11.0	11.2	8.9	10.4	13.2	12.4	10.4	10.0
22	12.4	13.2	11.6	12.0	11.4	10.6	11.2	11.0	11.2	12.0	11.4	10.2
23	10.6	13.2	12.0	12.4	10.8	10.2	9.8	11.2	11.4	10.6	11.2	10.4
24	11.2	13.2	10.4	11.6	10.2	10.2	9.2	10.4	11.0	12.4	11.8	11.0
25	10.4	12.4	11.6	12.2	11.8	10.4	10.0	12.0	12.8	11.4	10.2	12.2
26	10.7	13.0	10.8	12.2	12.4	10.6	9.2	11.0	11.8	11.2	11.6	11.2
27	11.3	10.2	11.0	12.0	11.4	10.8	9.2	13.0	11.4	10.4	11.0	10.2
28	12.0	11.6	10.4	12.0	12.4	11.0	10.4	11.4	12.2	11.0	10.6	10.4
29	9.0	12.2	10.2	11.2	11.6	11.0	10.6	11.8	10.6	11.4	10.2	9.2
30	12.0		12.2	12.0	11.0	10.0	11.0	11.8	11.4	11.6	12.0	12.0
31	10.4		11.0		10.2		11.2	11.8		10.6		11.2
moy	11.4	11.6	11.2	11.7	11.7	10.6	10.1	11.1	11.8	11.6	11.3	11.1

Températures moyennes

	F	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
1	16.9	16.6	14.9	15.5	16.2	14.0	16.0	15.7	16.0	14.8	16.9	16.7
2	17.0	14.4	15.6	16.9	15.6	14.4	16.2	16.4	16.8	15.2	16.6	17.6
3	16.7	14.9	15.8	16.8	15.7	16.0	13.5	15.8	18.1	16.4	16.2	17.2
4	16.9	16.7	14.6	17.1	14.1	14.5	13.1	15.5	17.0	16.8	16.2	15.9
5	16.4	16.6	15.8	16.3	14.8	14.6	14.0	15.4	16.8	16.7	14.1	15.2
6	16.8	16.6	14.1	17.1	15.8	14.9	14.4	15.5	17.1	16.6	15.9	13.9
7	17.9	15.9	13.9	14.2	17.1	15.5	14.9	16.0	17.0	16.7	16.9	15.7
8	15.5	17.1	15.6	15.6	16.2	15.9	15.1	15.3	16.4	17.5	13.3	14.7
9	16.5	17.0	16.0	15.9	16.6	15.0	15.4	13.9	15.7	17.8	14.9	15.7
10	17.0	16.4	16.8	16.8	16.0	14.0	14.9	13.4	16.4	16.9	15.6	15.4
11	15.7	15.8	18.5	17.3	15.5	15.5	14.7	14.7	17.5	16.7	15.4	15.5
12	16.4	16.1	15.2	15.4	16.1	14.4	14.5	16.4	15.5	16.4	16.0	14.7
13	17.1	15.7	14.3	15.4	15.3	14.0	5.9	16.4	16.4	17.2	15.4	15.6
14	17.3	15.1	15.3	16.3	14.8	15.0	15.4	16.6	15.3	14.5	16.2	16.0
15	16.7	15.1	16.5	17.2	15.3	15.8	15.8	16.6	17.4	16.0	15.9	16.1
16	17.0	15.7	18.0	15.0	14.6	15.8	15.3	15.7	16.1	15.3	15.5	15.8
17	17.6	14.9	17.7	15.2	15.8	15.4	14.9	15.3	16.4	17.2	14.5	15.9
18	15.6	16.0	18.2	16.0	14.8	16.2	15.0	16.4	16.3	15.8	15.8	15.7
19	14.8	17.5	17.1	16.9	16.7	16.7	14.9	16.1	17.9	17.1	14.3	14.4
20	16.6	17.3	16.6	16.5	15.8	16.2	15.1	15.6	17.5	15.2	14.8	14.8
21	17.0	17.4	17.1	16.0	14.7	15.4	14.4	14.6	17.9	16.9	15.9	15.8
22	17.7	17.1	15.3	15.5	15.2	14.6	16.4	16.3	16.0	16.0	15.7	15.9
23	13.7	17.1	17.0	16.9	15.2	13.8	15.7	16.7	16.8	16.6	16.1	15.2
24	14.9	16.3	15.8	16.3	14.4	15.1	15.5	15.8	16.5	16.6	15.4	15.3
25	15.8	16.1	15.5	16.4	16.0	15.2	15.5	16.8	17.5	16.8	15.1	16.2
26	14.6	17.9	15.4	14.7	15.6	15.5	14.3	16.5	15.2	16.4	16.6	15.2
27	16.5	15.9	15.7	15.7	16.3	15.3	14.4	16.9	14.8	15.8	15.6	16.0
28	16.9	16.4	15.0	16.3	16.2	15.4	14.9	16.7	17.0	15.8	14.8	16.0
29	14.9	17.3	13.8	15.5	15.3	14.9	15.9	16.1	16.2	15.6	15.4	15.9
30	15.5		15.8	16.5	15.3	15.0	16.2	15.6	15.9	15.9	16.8	14.6
31	13.8		16.5		14.0		16.0	16.7		14.8		14.7
moy	16.2	16.4	15.9	16.1	15.5	15.1	14.8	15.9	16.6	16.3	15.6	15.6

Station : Rwegura
Paramètre: Températures
Année : 1981

Températures maximales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	18.0	21.4	22.4	19.0	20.6	17.4	20.0	21.0	18.0	19.4	22.2	21.6
2	18.2	21.0	18.8	19.0	21.6	19.6	20.6	22.4	17.4	20.2	22.2	21.2
3	20.6	21.6	20.8	21.0	17.2	19.2	19.0	20.6	18.4	17.6	19.8	22.2
4	19.2	21.2	20.6	20.2	20.6	20.0	19.4	21.6	20.6	22.8	21.2	22.4
5	22.2	22.4	20.2	17.4	20.0	20.6	20.4	21.6	20.6	22.2	21.8	19.2
6	17.0	21.4	23.2	19.8	17.6	21.0	21.6	20.6	19.2	23.4	22.4	17.2
7	21.6	18.8	21.4	18.2	17.8	20.0	20.0	22.4	19.4	20.8	19.0	21.0
8	21.8	19.6	21.0	22.6	21.4	18.6	20.2	22.0	18.0	20.6	17.2	19.6
9	19.8	19.6	16.6	22.2	21.0	17.6	20.6	22.8	20.4	19.0	19.2	21.2
10	22.2	19.0	21.0	19.2	19.2	18.8	2.0	20.2	19.8	21.6	21.2	20.4
11	22.2	21.4	21.8	20.8	17.8	18.8	17.6	21.6	18.6	21.0	21.2	19.8
12	22.4	21.4	20.8	19.0	19.6	18.6	19.4	21.0	21.0	20.2	20.0	20.2
13	20.2	22.8	20.6	20.6	19.8	19.4	20.6	18.2	19.8	21.8	22.4	21.8
14	20.8	22.6	20.0	19.4	16.4	21.4	19.6	21.2	20.2	22.6	20.2	18.8
15	22.2	17.4	17.5	22.6	20.6	20.2	18.8	18.8	21.0	22.8	21.6	20.0
16	23.2	17.6	20.4	18.8	20.8	21.6	18.4	19.0	20.0	22.4	22.0	21.0
17	21.0	18.2	20.6	20.0	19.4	18.4	18.0	18.8	20.8	18.6	23.8	19.4
18	22.8	18.6	20.0	16.4	18.4	20.1	18.6	18.2	21.6	19.0	22.0	21.8
19	22.0	21.8	18.4	19.2	17.4	20.0	21.4	15.2	21.2	19.0	20.6	20.4
20	22.6	22.8	19.0	18.8	17.6	21.0	19.6	19.4	22.4	19.8	20.8	19.2
21	21.0	20.8	21.4	18.6	17.6	20.8	19.4	20.6	21.0	19.6	18.0	19.6
22	21.4	23.4	20.2	21.6	18.8	21.4	21.4	20.2	21.2	22.4	22.6	20.8
23	21.2	22.6	21.4	17.0	19.6	19.6	20.4	20.4	22.6	22.0	19.4	21.0
24	22.4	22.6	17.6	21.6	19.8	21.0	21.4	20.2	22.0	19.2	18.0	22.6
25	20.0	19.0	19.0	20.6	21.4	19.2	21.4	22.0	22.6	17.4	21.0	23.2
26	22.2	18.0	19.2	20.6	17.8	18.0	19.6	20.0	21.6	20.4	22.0	22.4
27	21.2	22.2	18.8	21.0	18.0	18.8	16.8	22.4	22.2	21.4	21.2	20.4
28	19.0	22.8	20.6	20.4	21.4	21.0	20.2	19.4	22.2	21.4	20.4	21.6
29	18.2		20.4	20.6	20.4	22.4	21.2	19.6	23.2	20.0	18.4	21.8
30	17.2		17.4	22.2	18.6	21.4	19.4	17.4	18.0	21.2	21.0	21.4
31	20.4		18.8		18.6		19.6	21.0		21.4		21.6
moy	20.8	20.8	20.0	19.9	19.3	19.9	19.3	20.3	20.5	20.7	20.8	20.8

Températures minimales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	11.6	11.0	11.8	11.8	13.0	12.0	7.8	10.0	8.0	11.6	9.2	10.4
2	11.4	9.8	11.2	10.4	12.2	11.4	7.4	9.4	10.2	10.8	9.2	10.4
3	10.8	12.2	11.6	12.2	10.8	9.6	7.6	9.6	8.0	11.4	8.2	9.8
4	10.4	12.6	11.6	12.6	11.6	10.2	10.0	10.0	8.8	12.0	10.8	11.0
5	10.6	11.4	12.2	12.2	11.8	11.4	9.0	11.2	9.6	13.8	8.0	9.4
6	10.6	10.8	13.2	10.4	11.2	10.2	8.6	10.0	9.0	12.8	12.0	9.2
7	11.2	11.0	12.8	10.6	10.6	10.8	10.6	11.0	11.2	11.2	10.2	9.6
8	11.2	9.0	12.2	12.2	11.8	9.4	8.6	10.9	9.6	11.8	9.8	12.2
9	12.2	11.2	10.0	11.2	12.0	9.6	8.4	11.0	11.0	11.0	7.4	10.8
10	11.8	11.8	10.2	10.4	11.2	10.0	10.4	10.0	10.2	11.4	11.2	11.0
11	11.2	11.2	10.4	10.8	9.8	9.2	10.0	9.8	10.2	11.2	11.0	11.0
12	11.4	10.6	11.2	10.4	12.0	9.2	10.0	10.4	9.0	12.0	10.0	12.2
13	11.4	10.4	11.6	9.6	11.0	9.4	10.0	10.8	10.0	11.8	10.9	12.0
14	12.4	11.4	10.8	12.0	9.4	9.2	11.8	10.6	7.8	10.2	9.8	10.2
15	12.2	10.4	11.5	12.0	10.6	9.2	10.6	13.0	7.2	13.0	11.2	11.4
16	11.6	9.2	11.4	10.0	11.8	10.2	12.0	11.6	11.4	12.0	12.6	11.6
17	11.8	10.4	10.6	9.0	12.0	10.2	11.2	9.8	11.0	11.0	13.0	10.0
18	12.0	11.0	10.6	12.4	10.8	10.0	10.2	10.0	10.8	10.0	10.2	10.6
19	11.8	10.0	10.8	11.4	9.9	9.4	10.0	8.6	11.0	10.4	12.4	11.6
20	11.2	11.0	10.2	11.4	8.6	9.8	9.2	10.4	11.2	10.4	12.0	11.4
21	12.2	11.0	10.4	12.4	6.2	10.0	9.8	10.0	11.8	11.0	10.4	11.0
22	11.4	11.6	11.0	9.8	7.8	9.0	10.4	11.8	12.0	11.8	10.2	9.8
23	12.0	12.0	10.8	10.2	9.2	10.2	11.4	10.2	11.2	11.4	10.6	9.8
24	11.2	12.2	10.8	9.8	11.6	10.0	10.4	11.0	11.8	11.2	10.2	11.2
25	11.8	12.6	11.8	11.3	10.4	9.8	11.0	10.2	11.0	9.4	11.0	12.0
26	12.2	11.0	10.4	10.8	7.0	10.0	9.2	11.6	11.6	11.8	8.0	12.0
27	12.0	11.0	11.0	10.4	7.6	9.8	9.0	11.1	10.0	11.0	10.0	10.4
28	11.2	12.0	10.2	10.4	6.6	10.0	10.6	12.0	11.2	11.0	11.8	9.8
29	10.2		11.6	12.4	13.0	8.2	10.6	10.4	12.2	11.4	9.8	9.0
30	10.6		11.6	11.6	12.4	8.8	9.6	10.0	11.4	9.8	11.8	11.4
31	10.4		11.0		12.6		11.4	8.8		10.8		10.4
moy	11.4	11.1	11.2	11.1	10.5	9.9	9.9	10.5	10.3	11.3	10.4	10.7

Températures moyennes

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	14.8	16.2	17.1	15.4	16.8	14.7	13.9	15.5	13.0	15.5	15.7	16.0
2	14.8	15.4	15.0	14.7	16.9	15.5	14.0	15.9	13.8	15.5	15.7	15.8
3	15.7	16.9	16.2	16.6	14.0	14.4	13.3	15.1	13.2	14.5	14.0	16.0
4	14.8	16.9	16.1	16.4	16.1	15.1	14.7	15.8	14.7	17.4	16.0	16.7
5	16.4	16.9	16.2	14.8	15.9	16.0	14.7	16.4	15.1	18.0	14.9	14.3
6	13.8	16.1	18.2	15.1	14.4	15.6	15.1	15.3	14.1	18.1	17.2	13.2
7	16.4	14.9	17.1	14.4	14.2	15.4	15.3	16.7	15.3	16.0	14.6	15.3
8	16.5	14.3	16.6	17.4	16.6	14.0	14.4	16.5	13.8	16.2	13.5	15.9
9	16.0	15.4	13.3	16.7	16.5	13.6	14.5	16.9	15.7	15.0	13.3	16.0
10	17.0	15.4	15.6	14.8	15.2	14.4	6.2	15.1	15.0	16.5	16.2	15.7
11	16.7	16.3	16.1	15.8	13.8	14.0	13.8	15.7	14.4	16.1	16.1	15.4
12	16.9	16.0	16.0	14.7	15.8	13.9	14.7	15.7	15.0	16.1	15.0	16.2
13	15.8	16.6	16.1	15.1	15.4	14.4	15.3	14.5	14.9	16.8	16.7	16.9
14	16.6	17.0	15.4	15.7	12.9	15.3	15.7	15.9	14.0	16.4	15.0	14.5
15	17.2	13.9	14.5	17.3	15.6	14.7	14.7	15.9	14.1	17.9	16.4	15.7
16	17.4	13.4	15.9	13.4	16.3	15.9	15.2	15.3	15.7	17.2	17.3	16.3
17	16.3	14.3	15.6	14.5	15.7	14.3	14.6	14.3	15.9	14.8	18.4	14.7
18	17.4	14.8	15.3	14.4	14.6	15.1	14.5	14.1	16.2	14.5	16.1	16.2
19	16.9	15.9	14.6	15.3	13.7	14.7	15.7	11.9	16.1	14.7	16.5	16.0
20	16.9	16.9	14.6	15.1	13.1	15.4	14.4	14.9	16.8	15.1	16.4	15.3
21	16.6	15.9	15.9	15.5	11.9	15.4	14.6	15.3	16.4	15.3	14.2	15.3
22	16.4	17.5	15.6	15.7	13.3	15.2	15.9	16.0	16.6	17.1	16.4	15.3
23	16.6	17.3	16.1	13.6	14.4	14.9	15.9	15.3	16.9	16.7	15.0	15.4
24	16.8	17.4	14.2	15.7	15.7	15.5	15.9	15.6	16.9	15.2	14.1	16.9
25	15.9	15.8	15.4	16.0	15.9	14.5	16.2	16.1	16.8	13.4	16.0	17.6
26	17.2	14.5	14.8	15.7	12.4	14.0	14.4	15.8	16.6	16.1	15.0	17.2
27	16.6	16.6	14.9	15.7	12.8	14.3	12.9	16.8	16.1	16.2	15.6	15.4
28	15.1	17.4	15.4	15.4	14.0	15.5	15.4	15.7	16.7	16.2	16.1	15.7
29	14.2		16.0	16.5	16.7	15.3	15.9	15.0	17.7	15.7	14.1	15.4
30	13.9		14.5	16.9	15.5	15.1	14.5	13.7	14.7	15.5	16.4	16.4
31	15.4		14.9		15.6		15.5	14.9		16.1		16.0
moy	16.1	15.9	15.6	15.5	14.9	14.9	14.6	15.4	15.4	16.0	15.6	15.8

Station : Rwegura
Paramètre : températures
Année : 1982

Températures maximales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	21.2	21.4	21.2	19.8	19.6	19.0	19.6	19.4	23.8	20.4	22.0	19.0
2	21.8	21.0	22.4	19.0	19.4	18.6	18.6	17.5	22.6	21.4	20.4	17.8
3	21.0	21.6	23.2	19.4	19.4	19.8	20.0	18.8	22.4	20.6	21.4	18.2
4	19.2	22.0	17.4	17.6	18.6	19.8	19.2	20.6	23.0	19.6	20.6	18.8
5	20.2	23.4	20.8	17.2	17.5	21.2	19.4	20.5	22.6	21.2	19.6	20.8
6	21.8	20.8	20.0	21.2	18.2	22.0	18.4	19.6	20.6	20.0	21.2	20.8
7	21.4	19.8	18.4	20.0	18.4	21.6	20.0	19.0	22.8	21.0	20.0	20.4
8	22.6	19.8	17.8	20.0	18.2	19.8	21.0	21.0	21.0	23.2	22.0	19.2
9	22.4	19.6	18.6	19.6	19.5	17.8	21.0	20.0	21.2	21.4	23.2	17.8
10	21.4	17.4	20.6	19.6	18.6	21.5	19.2	18.0	21.2	22.8	21.4	21.6
11	18.6	16.5	21.0	20.4	20.4	19.6	19.6	20.0	22.2	16.6	22.8	21.6
12	19.2	21.0	21.6	21.6	18.2	19.8	20.5	19.0	21.2	16.4	16.6	21.8
13	22.0	17.8	20.8	21.6	17.0	19.4	19.6	19.0	22.8	19.6	16.4	17.4
14	19.0	19.4	19.4	21.4	18.4	20.6	19.0	19.0	21.6	20.0	19.6	19.6
15	20.8	17.6	20.6	21.0	19.4	19.8	18.0	19.0	23.0	19.4	20.0	19.8
16	19.4	23.0	21.0	18.2	18.0	20.4	18.6	20.0	22.2	21.4	19.4	19.2
17	21.8	20.2	17.2	21.4	18.0	20.8	19.8	20.0	21.2	17.6	21.4	22.2
18	18.6	21.4	21.8	19.8	20.2	18.6	21.0	19.0	21.6	17.6	17.6	22.2
19	23.0	19.2	22.0	18.4	20.4	19.2	22.6	19.0	18.0	15.8	17.6	22.0
20	20.4	22.8	18.4	19.6	18.2	16.8	20.2	18.0	20.6	19.2	15.8	21.4
21	19.6	22.6	21.0	20.4	16.4	19.4	20.4	19.0	21.6	19.2	19.2	21.4
22	20.0	22.2	20.0	17.5	18.6	20.4	19.4	19.0	20.0	21.0	21.0	20.2
23	20.0	22.6	22.4	19.6	18.8	17.4	20.0	18.0	19.6	18.6	18.6	20.2
24	21.4	20.4	23.0	17.0	20.2	16.8	18.6	18.0	19.0	17.4	17.4	21.0
25	23.0	21.2	22.6	17.8	20.4	18.6	18.4	18.0	17.0	16.0	16.0	22.2
26	23.2	22.2	24.2	19.6	20.8	18.8	19.8	18.0	21.0	19.8	19.8	21.6
27	23.0	21.2	22.0	18.6	14.6	19.6	19.6	19.0	19.2	21.6	21.6	20.6
28	22.8	22.3	18.6	21.0	16.8	18.5	20.2	19.0	21.2	20.6	20.6	19.8
29	21.8		21.0	18.8	20.6	18.8	19.2	18.0	20.6	20.6	20.6	22.4
30	15.8		21.4	21.0	19.8	20.0	19.4	18.0	21.2	19.2	19.2	22.8
31	20.4		19.2		16.3		20.2	19.0		19.0		19.0
moy	20.9	20.7	20.6	19.6	18.7	19.5	19.7	19.0	21.2	19.6	19.8	20.4

Températures minimales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	10.6	10.2	12.0	10.4	9.6	7.4	9.0	8.8	11.8	11.0	11.0	11.0
2	8.6	9.8	10.2	10.8	12.2	12.2	9.0	10.5	11.8	11.2	11.2	11.0
3	10.0	10.0	12.2	10.2	12.0	11.8	8.8	10.5	11.6	10.8	10.8	11.8
4	10.0	8.8	11.8	10.2	8.4	10.3	8.8	8.8	12.2	9.8	9.8	11.6
5	10.2	7.0	10.8	9.8	11.6	8.8	8.6	8.9	12.4	9.8	9.8	11.4
6	10.0	9.4	10.4	8.4	10.6	9.4	11.0	11.0	9.6	9.8	10.0	11.4
7	9.8	12.2	11.0	12.4	6.0	11.0	10.2	11.0	10.2	9.8	12.0	10.6
8	11.0	11.2	9.2	11.6	5.4	11.6	13.0	13.0	10.0	7.8	7.8	11.8
9	11.2	11.4	10.0	8.4	7.2	11.2	11.0	12.0	9.8	7.8	7.8	11.8
10	10.2	11.0	10.8	11.4	11.8	11.0	9.8	10.0	11.8	12.4	12.4	11.8
11	11.8	11.8	12.2	11.8	11.0	9.6	11.4	12.0	11.9	11.0	11.0	11.4
12	10.6	11.2	13.0	9.0	9.2	9.8	10.0	11.0	11.8	11.4	11.4	11.0
13	11.4	8.2	12.2	11.4	10.0	10.0	10.4	11.0	11.4	11.0	11.0	11.6
14	11.2	11.2	12.2	11.2	11.6	10.4	11.0	11.0	11.6	12.2	12.2	10.3
15	11.4	10.2	11.8	12.6	9.2	9.8	12.0	11.0	11.6	12.0	12.0	12.0
16	11.6	9.8	11.4	12.0	12.0	11.6	13.4	12.0	12.0	9.8	9.8	12.2
17	10.0	11.8	11.4	12.6	12.0	11.4	12.2	12.0	11.2	6.8	6.8	12.2
18	10.6	11.0	10.2	10.4	11.8	12.0	9.0	11.0	11.9	8.8	8.8	12.0
19	10.4	11.2	11.2	9.4	8.2	11.0	8.4	10.0	11.0	9.2	8.2	11.2
20	11.6	11.2	11.0	13.0	9.4	10.4	8.6	11.0	11.2	8.6	8.6	11.8
21	10.6	12.4	10.0	10.6	8.2	10.0	10.6	11.0	13.0	8.4	8.4	12.0
22	10.0	11.2	10.2	6.0	11.6	10.4	10.6	10.0	11.6	11.0	11.0	12.4
23	11.2	12.6	11.4	10.6	10.2	10.4	8.0	10.0	11.4	10.2	10.2	11.0
24	10.8	12.4	11.0	12.2	8.6	10.6	9.6	10.0	12.4	10.0	8.8	12.0
25	10.2	11.6	11.8	10.4	8.8	10.2	9.0	11.0	11.8	8.8	10.8	11.6
26	10.0	12.0	12.2	11.6	8.2	10.0	10.6	11.0	12.0	10.8	11.6	12.2
27	11.8	12.0	12.6	11.8	9.8	11.0	9.8	11.8	11.8	11.6	11.8	12.0
28	10.6	13.3	10.0	10.4	10.2	10.8	9.0	11.0	11.8	11.8	11.0	12.0
29	11.6		13.0	10.4	11.0	9.2	8.6	10.0	9.8	11.0	11.8	11.8
30	10.2		11.6	6.8	9.8	8.8	9.8	10.0	9.6	11.8	11.2	12.4
31	10.6		13.8		9.2		9.0	11.0		10.2		12.0
moy	10.6	10.9	11.4	10.6	9.8	10.4	10.0	10.8	11.4	10.2	10.3	11.7

Températures moyennes

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	15.9	15.8	16.6	15.1	14.6	13.2	14.3	14.1	17.8	15.7	16.5	15.0
2	15.2	15.4	16.3	14.9	15.8	15.4	13.8	14.0	17.2	16.3	15.8	14.4
3	15.5	15.8	17.7	14.8	15.7	15.7	14.4	14.7	17.0	15.7	16.1	15.0
4	14.6	15.4	14.6	13.9	13.5	15.1	14.0	14.7	17.6	14.7	15.2	15.2
5	15.2	15.2	15.8	13.5	14.6	15.0	14.0	14.7	17.5	15.5	14.7	16.1
6	15.9	15.1	15.2	14.8	14.4	15.2	14.7	15.3	15.1	14.9	15.6	16.1
7	15.6	16.0	14.7	16.2	12.2	16.3	15.1	15.0	16.5	15.4	16.0	15.5
8	16.8	15.5	13.5	15.8	11.8	15.7	17.0	17.0	15.5	15.5	14.9	15.5
9	16.8	15.5	14.3	14.0	13.4	14.5	16.0	16.0	15.5	14.6	15.5	14.8
10	15.8	14.2	15.7	15.5	15.2	16.3	14.5	14.0	16.5	17.6	16.9	16.7
11	15.2	14.2	16.6	16.1	15.7	14.6	15.5	16.0	17.1	13.8	16.9	16.5
12	14.9	16.1	17.3	15.3	13.7	14.8	15.3	15.0	16.5	13.9	14.0	16.4
13	16.7	13.0	16.5	16.5	13.5	14.7	15.0	15.0	17.1	15.3	13.7	14.5
14	15.1	15.3	15.8	16.3	15.0	15.5	15.0	15.0	16.6	16.1	15.9	15.0
15	16.1	13.9	16.2	16.8	14.3	14.8	15.0	15.0	17.3	15.7	16.0	15.9
16	15.5	16.4	16.2	15.1	15.0	16.0	16.0	16.0	17.1	15.6	14.6	15.7
17	15.9	16.0	14.3	17.0	15.0	16.1	16.0	16.0	16.2	12.2	14.1	17.2
18	14.6	16.2	16.0	15.1	16.0	15.3	15.0	15.0	16.8	13.2	13.2	17.1
19	16.7	15.2	16.6	13.9	14.3	15.1	15.5	14.5	14.5	12.5	12.9	16.6
20	16.0	17.0	14.7	16.3	13.8	13.6	14.4	14.5	15.9	13.9	12.2	16.6
21	15.1	17.5	15.5	15.5	12.3	14.7	15.5	15.0	17.3	13.8	13.8	16.7
22	15.0	16.7	15.1	11.8	15.1	15.4	15.0	14.5	15.8	16.0	16.0	16.3
23	15.6	17.6	16.9	15.1	14.5	13.9	14.0	14.0	15.5	14.4	14.4	15.6
24	16.1	16.4	17.0	14.6	14.4	13.7	14.1	14.0	15.7	13.7	13.1	16.5
25	16.6	16.4	17.2	14.1	14.6	14.4	13.7	14.5	14.4	12.4	13.4	16.9
26	16.6	17.1	18.2	15.6	14.5	14.4	15.2	14.5	16.5	15.3	15.7	16.9
27	17.4	16.6	17.3	15.2	12.2	15.3	14.7	15.4	15.5	16.6	16.7	16.3
28	16.7	17.8	14.3	15.7	13.5	14.7	14.6	15.0	16.5	16.2	15.8	15.9
29	16.7		17.0	14.6	15.8	14.0	13.9	14.0	15.2	15.8	16.2	17.1
30	13.0		16.5	13.9	14.8	14.4	14.6	14.0	15.4	15.5	15.2	17.6
31	15.5		16.5		12.8		14.6	15.0		14.6		15.5
moy	15.8	15.8	16.0	15.1	14.3	14.9	14.9	14.9	16.3	14.9	15.0	16.0

Station: Rwegura
Paramètre: températures
Année: 1983

Températures maximales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	20.6	23.6	20.4	19.2	19.6	20.0	19.6	19.4	22.2	22.8	22.6	19.4
2	17.0	21.6	20.4	21.6	20.0	20.0	18.8	19.0	20.0	22.0	22.0	17.8
3	19.6	22.2	19.6	17.4	18.4	20.8	17.6	20.8	22.8	20.1	21.6	22.4
4	20.0	19.8	21.8	17.4	18.6	20.0	19.2	21.4	21.6	21.8	19.8	20.8
5	21.8	20.6	23.0	17.2	15.4	20.4	19.2	21.4	20.2	21.8	22.4	22.6
6	21.2	19.4	21.8	18.0	18.2	19.4	19.2	20.2	19.2	20.0	21.0	18.6
7	21.0	21.8	22.2	18.6	20.0	20.8	21.2	20.6	20.2	19.2	18.4	19.8
8	22.4	24.3	20.2	21.2	19.6	21.0	20.6	20.8	21.7	18.4	21.0	22.4
9	22.8	23.8	22.0	21.6	20.6	20.8	18.8	22.4	21.2	19.6	22.4	21.8
10	21.8	17.4	23.0	20.8	20.8	21.2	21.0	20.4	20.7	21.6	22.6	22.1
11	21.2	22.6	23.0	21.6	20.2	21.2	22.0	15.6	20.8	20.1	22.8	18.3
12	21.0	22.6	22.8	22.0	20.2	21.4	19.2	18.0	20.8	20.0	21.0	22.0
13	22.2	19.6	22.4	21.6	19.4	21.4	20.8	18.0	22.8	21.2	19.8	19.0
14	22.2	23.6	22.6	19.8	19.0	21.0	21.0	21.2	22.8	19.3	20.6	22.0
15	22.2	20.4	22.0	18.4	18.2	21.4	22.4	18.6	22.6	18.4	22.2	21.8
16	18.8	17.8	23.0	20.0	19.8	21.6	20.4	19.2	23.3	22.8	21.4	19.6
17	23.2	20.2	18.4	16.2	20.2	20.0	20.4	20.6	21.4	19.5	19.0	22.3
18	24.0	21.2	19.4	19.1	20.4	20.2	20.0	21.2	20.4	19.4	20.0	19.0
19	22.8	20.8	22.4	21.6	18.6	21.6	19.4	20.8	20.8	20.8	21.4	20.8
20	22.6	23.4	21.8	22.0	20.2	21.4	17.6	21.4	22.0	22.6	20.6	23.0
21	22.0	22.4	20.8	22.0	21.4	20.8	20.0	19.0	21.4	21.8	20.3	16.8
22	21.0	23.6	21.2	19.0	21.2	16.8	21.0	18.2	23.4	19.4	19.4	16.4
23	22.3	23.4	22.4	19.2	22.2	16.8	21.4	21.2	22.2	21.0	21.2	18.9
24	22.6	24.4	21.8	21.2	21.6	20.4	21.6	19.2	22.2	21.4	22.0	19.6
25	21.0	22.2	22.4	21.6	21.6	20.2	20.4	17.8	24.0	20.0	21.6	15.1
26	20.6	22.2	23.0	17.0	22.0	18.0	17.6	19.8	21.2	22.0	22.0	18.3
27	23.6	23.0	19.8	18.4	19.4	21.0	20.6	20.8	18.8	18.8	18.4	20.6
28	21.8	22.6	22.2	17.2	21.2	21.2	20.4	22.8	17.4	21.0	17.8	19.8
29	21.8		22.6	20.6	20.8	20.6	21.4	22.0	21.6	19.2	19.2	22.2
30	22.4		19.0	20.8	22.4	22.0	17.8	21.8	22.6	17.5	20.8	19.4
31	23.8		19.4		20.4		18.4	21.2		22.0		19.0
moy	21.7	21.8	21.5	19.7	20.1	20.4	20.0	20.2	21.4	20.5	20.9	20.1

Températures minimales

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	11.6	13.4	11.6	11.4	12.4	12.8	10.0	11.2	8.0	12.2	11.2	10.4
2	11.6	12.2	11.8	11.2	12.8	12.2	11.4	10.4	8.4	12.8	11.0	10.8
3	11.0	11.4	12.4	11.4	12.0	12.0	11.4	10.9	9.0	12.0	11.8	10.9
4	11.6	11.0	12.6	12.6	12.6	12.2	11.4	11.4	12.0	13.0	12.8	10.6
5	10.6	12.0	12.6	12.2	12.4	12.0	11.4	12.4	10.4	11.0	12.6	11.2
6	10.8	11.6	12.2	11.2	12.4	11.8	11.2	11.8	11.0	11.2	12.4	11.0
7	10.8	11.6	12.0	11.2	12.4	12.6	12.0	12.8	12.0	11.8	12.2	10.9
8	12.0	12.4	12.8	11.2	12.0	11.6	11.6	11.8	13.4	12.2	12.6	10.8
9	11.6	13.0	12.2	11.2	12.2	12.2	11.8	11.0	12.2	12.4	13.0	11.0
10	11.6	12.6	12.8	11.2	12.4	12.0	11.8	12.4	11.0	11.3	11.8	11.6
11	10.8	10.8	11.4	11.6	12.6	12.2	11.2	11.0	13.2	10.8	11.8	10.9
12	11.2	12.4	10.2	11.2	11.8	11.4	11.4	11.0	13.0	11.8	12.0	10.8
13	12.0	12.2	10.6	11.0	11.4	11.1	10.2	10.6	10.1	11.8	12.2	11.2
14	10.4	11.6	10.4	13.2	11.8	12.6	9.8	11.0	12.0	12.8	12.6	10.9
15	10.4	12.4	13.0	11.2	12.4	11.6	11.6	11.8	12.7	12.0	11.8	11.8
16	11.8	12.6	12.0	11.4	12.2	10.8	10.8	11.4	11.4	11.4	11.2	11.3
17	11.8	11.2	12.1	11.4	13.0	11.2	11.8	11.4	12.2	11.4	11.4	11.0
18	12.6	12.0	12.0	12.0	12.2	11.2	11.0	12.8	12.2	10.8	12.4	10.2
19	12.0	12.4	12.6	11.9	13.0	11.8	11.4	11.4	11.2	12.4	11.2	11.4
20	12.4	11.6	12.6	11.6	12.1	12.0	10.4	11.8	11.0	11.4	11.0	11.4
21	12.4	11.6	12.8	13.2	12.0	11.6	10.0	11.8	11.0	12.4	11.4	11.2
22	12.6	11.4	13.2	13.4	12.4	11.2	10.2	11.6	11.8	11.4	11.4	11.0
23	12.6	12.0	13.2	13.0	12.8	11.8	10.0	11.0	11.2	11.0	12.1	11.2
24	9.6	13.6	13.4	11.6	12.8	10.4	11.0	10.0	12.0	11.8	11.8	12.2
25	9.6	12.2	12.6	11.2	11.4	10.2	10.6	12.0	11.6	11.4	10.1	11.2
26	10.2	13.6	12.8	11.2	11.8	10.4	9.2	10.6	12.2	11.1	11.6	11.4
27	12.4	13.8	11.2	12.4	12.8	10.8	11.6	10.6	10.2	10.8	12.0	11.2
28	12.6	13.6	12.8	12.2	12.6	11.2	12.6	12.2	11.4	10.9	12.0	11.2
29	12.6		13.0	12.4	12.4	11.0	12.4	7.8	11.2	12.0	12.4	9.0
30	12.0		15.0	12.4	11.4	10.0	13.2	10.0	11.6	12.2	11.0	12.0
31	12.0		11.6		12.6		12.6	10.6		10.8		11.4
moy	11.5	12.2	12.3	11.8	12.3	11.5	11.2	11.2	11.4	11.7	11.8	11.1

Températures moyennes

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	16.1	18.5	16.0	15.3	16.0	16.4	14.8	15.3	15.1	17.5	16.9	14.9
2	14.3	16.9	16.1	16.4	16.4	16.1	15.1	14.7	14.2	17.4	16.5	14.3
3	15.3	16.8	16.0	14.4	15.2	16.4	14.5	15.9	15.9	16.1	16.7	16.7
4	15.8	15.4	17.2	15.0	15.6	16.1	15.3	16.4	16.8	17.4	16.3	15.7
5	16.2	16.3	17.8	14.7	13.9	16.2	15.3	16.9	15.3	16.4	17.5	16.9
6	16.0	15.5	17.0	14.6	15.3	15.6	15.2	16.0	15.1	15.6	16.7	14.8
7	15.9	16.7	17.1	14.9	16.2	16.7	16.6	16.7	16.1	15.5	15.3	15.4
8	17.2	18.4	16.5	16.2	15.8	16.3	16.1	16.3	17.6	15.3	16.8	16.6
9	17.2	18.4	17.1	16.4	16.4	16.5	15.3	16.7	16.7	16.0	17.7	16.4
10	16.7	15.0	17.9	16.0	16.6	16.6	16.4	16.4	15.9	16.5	17.2	16.9
11	16.0	16.7	17.2	16.6	16.4	16.7	16.6	13.3	17.0	15.5	17.3	14.6
12	16.1	17.6	16.5	16.6	16.0	16.4	15.3	14.5	16.9	15.9	16.5	16.4
13	17.1	15.9	16.5	16.3	15.4	16.3	15.5	14.3	16.5	16.5	16.0	15.1
14	16.3	17.6	16.5	16.5	15.4	16.8	15.4	16.1	17.4	16.1	16.6	16.5
15	16.3	16.4	17.5	14.8	15.3	16.5	17.0	15.2	17.7	15.2	17.0	16.8
16	15.3	15.2	17.5	15.7	16.0	16.2	15.6	15.3	17.4	17.1	16.3	15.5
17	17.5	15.7	15.3	13.8	16.6	15.6	16.1	16.0	16.8	15.5	15.2	16.7
18	18.3	16.6	15.7	15.6	16.3	15.7	15.5	17.0	16.3	15.1	16.2	14.6
19	17.4	16.6	17.5	16.8	15.8	16.7	15.4	16.1	16.0	16.5	16.3	16.1
20	17.5	17.5	17.2	16.8	16.2	16.7	14.0	16.6	16.5	17.0	15.8	17.2
21	17.2	17.0	16.8	17.6	16.7	16.2	15.0	15.4	16.2	17.1	15.9	14.0
22	16.8	17.5	17.2	16.2	16.8	14.0	15.6	14.9	17.6	15.4	15.4	13.7
23	17.5	17.7	17.8	16.1	17.5	14.3	15.7	16.1	16.7	16.0	16.7	15.1
24	16.1	19.0	17.6	16.4	17.2	15.4	16.3	14.6	17.1	16.6	16.9	15.9
25	15.3	17.2	17.5	16.4	16.5	15.2	15.5	14.9	17.8	15.7	16.0	13.2
26	15.5	17.9	17.9	14.1	16.9	14.2	13.4	15.2	16.7	16.6	16.8	14.9
27	18.0	18.4	15.5	15.4	16.1	15.9	16.1	15.7	14.5	14.8	15.2	15.9
28	17.2	18.1	17.5	14.7	16.9	16.2	16.5	17.5	14.4	16.0	14.9	15.5
29	17.2		17.8	16.5	16.6	15.8	16.9	14.9	16.4	15.6	15.8	15.6
30	17.2		17.0	16.6	16.9	16.0	15.5	15.9	17.1	14.9	15.9	15.7
31	17.9		15.5		16.5		15.5	15.9		16.4		15.2
moy	16.8	17.0	16.9	15.8	16.2	16.0	15.6	15.7	15.9	16.1	15.8	15.6

ANNEXE E

Valeurs des différents écoulements des réservoirs Nappe, Sol et Lacs-Marais.

Bassin versant de Rwegura
Lame d'eau en mm (carreau entier n0: 68)

I)Année: 1980

	Pluies	NAPPE						SOL								L-Marais			
		Bas.	Haut	Total	*Pond.	ETR	ETR pond.	Bas	Interm.	Ruiss.	Imp.	Total	Pond.	ETR	ETR pond.	Écoul.	Pond.	ETR	ETR pond.
J	157.6	21.6	2.6	24.1	23.4	21.8	21.2	9.2	7.7	0.0	2.7	19.6	19.0	83.9	81.4	8.2	0.2	87.2	2.6
F	143.7	20.6	2.5	23.1	22.4	20.9	20.3	8.6	4.3	0.0	2.4	15.3	14.9	81.7	79.3	27.7	0.7	83.8	2.5
M	176.0	22.8	2.8	25.6	24.8	21.3	20.7	9.6	12.7	0.0	2.7	25.0	24.3	84.3	81.8	53.6	1.3	85.2	2.5
A	141.2	23.9	3.2	27.1	26.3	21.2	20.5	9.1	9.7	0.0	2.1	20.9	20.3	83.1	80.6	70.9	1.7	84.7	2.5
M	153.0	24.3	3.2	27.4	26.6	20.4	19.8	9.1	6.4	0.0	2.4	17.8	17.3	77.9	75.5	63.8	1.5	81.5	2.4
J	70.1	24.1	3.2	27.2	26.4	19.4	18.9	7.9	8.3	0.0	1.3	17.6	17.0	66.4	64.4	58.3	1.4	77.7	2.3
J	0.0	22.5	2.8	25.3	24.5	19.4	18.9	4.7	0.0	0.0	0.0	4.7	4.6	39.0	37.8	9.0	0.2	77.8	2.3
A	9.4	20.0	2.2	22.3	21.6	21.2	20.6	2.8	0.0	0.0	0.1	2.9	2.8	25.1	24.4	0.0	0.0	31.7	0.9
S	75.1	17.1	1.6	18.7	18.2	22.0	21.4	3.1	0.0	0.0	1.0	4.2	4.0	30.5	29.6	0.0	0.0	57.4	1.7
O	174.7	15.5	1.2	16.7	16.2	22.2	21.5	7.0	1.9	0.0	2.9	11.7	11.4	65.8	63.9	8.1	0.2	78.3	2.3
N	182.7	15.7	1.3	17.0	16.5	19.6	19.0	9.4	13.1	0.0	2.8	25.3	24.6	78.3	76.0	44.3	1.1	78.3	2.3
D	132.6	18.0	1.8	19.7	19.1	20.3	19.6	9.4	6.0	0.0	2.0	17.4	16.9	79.9	77.5	60.4	1.4	81.0	2.4
1980	1416.0	245.9	28.3	274.2	266.0	249.7	242.3	90.0	69.9	0.0	204.7	182.3	176.9	796.0	772.3	404.1	9.7	902.5	26.8

II)Année: 1981

	Pluies	NAPPE						SOL								L-Marais			
		Bas	Haut	Total	Pond.	ETR	ETR pond.	Bas	Interm.	Ruiss.	Imp.	Total	Pond.	ETR	ETR pond.	Ruiss.	Pond.	ETR	ETR pond.
J	157.9	18.9	2.0	20.9	20.2	21.5	20.8	9.5	8.3	0.0	2.5	20.2	19.6	85.1	82.6	67.7	1.6	85.9	2.5
F	64.1	16.1	1.6	17.7	17.1	19.1	18.6	7.7	0.0	0.0	0.8	8.5	8.2	69.8	67.7	40.5	1.0	76.5	2.3
M	186.6	16.6	1.5	18.0	17.5	20.5	19.9	9.2	9.0	0.0	3.0	21.2	20.6	78.4	76.0	44.1	1.1	82.1	2.4
A	224.1	19.4	2.2	21.6	20.9	19.8	19.2	9.6	19.9	0.0	3.8	33.3	32.3	79.2	76.9	82.7	2.0	79.3	2.4
M	180.7	23.9	3.1	26.9	26.1	19.2	18.7	9.6	14.8	0.0	2.9	27.3	26.5	75.3	73.1	104.9	2.5	76.9	2.3
J	4.4	22.4	2.8	25.2	24.4	18.6	18.0	6.7	0.0	0.0	0.1	6.8	6.6	55.4	53.8	55.7	1.3	74.2	2.2
J	0.0	20.7	2.4	23.1	22.4	19.1	18.6	4.1	0.0	0.0	0.0	4.1	4.0	33.7	32.7	8.4	0.2	76.5	2.3
A	117.0	18.4	1.9	20.2	19.6	20.4	19.8	4.9	0.0	0.0	2.0	6.9	6.7	42.3	41.0	3.5	0.1	71.0	2.1
S	100.3	16.1	1.4	17.6	17.0	19.7	19.1	8.3	1.7	0.0	1.5	11.6	11.2	72.0	69.8	19.7	0.5	78.7	2.3
O	140.7	15.0	1.1	16.0	15.6	21.3	20.6	7.7	3.0	0.0	2.2	13.0	12.6	69.8	67.7	9.2	0.2	85.1	2.5
N	134.3	13.9	0.9	14.8	14.4	19.7	19.1	8.9	5.5	0.0	2.1	16.5	16.0	76.5	74.2	27.4	0.7	78.7	2.3
D	166.0	15.4	1.2	16.5	16.0	20.7	20.1	9.6	9.2	0.0	2.5	21.3	20.7	82.5	80.1	49.4	1.2	82.8	2.5
1981	1476.2	216.6	21.9	238.5	231.4	239.5	232.4	95.8	71.4	0.0	23.4	190.6	184.9	819.9	795.6	513.1	12.3	947.5	28.1

III)Année: 1982

	Pluies	NAPPE						SOL								L-Marais			
		Bas	Haut	Total	Pond.	ETR	ETR pond.	Bas	Interm.	Ruiss.	Imp.	Total	Pond.	ETR	ETR pond.	Ruiss.	Pond.	ETR	ETR pond.
J	165.9	16.9	1.5	18.4	17.9	20.7	20.0	9.6	10.0	0.0	2.7	22.3	21.6	82.2	79.7	64.4	1.5	82.6	2.5
F	70.1	15.9	1.5	17.4	16.9	18.9	18.4	8.2	1.9	0.0	1.0	11.1	10.7	72.6	70.4	54.8	1.3	78.7	2.2
M	207.4	16.3	1.4	17.7	17.2	21.5	20.9	8.9	8.3	0.0	3.7	20.9	20.3	79.9	77.5	47.0	1.1	86.0	2.6
A	343.8	22.5	2.8	25.3	24.6	19.0	18.4	10.2	42.5	0.0	6.0	58.6	56.9	75.7	73.5	123.1	3.0	75.8	2.3
M	168.8	29.7	4.4	34.1	33.1	17.9	17.4	9.7	15.9	0.0	2.6	28.1	27.3	70.7	68.6	150.3	3.6	71.7	2.1
J	39.7	28.2	4.1	32.3	31.3	18.5	18.0	7.6	2.1	0.0	0.7	10.4	10.1	62.7	60.8	94.6	2.3	74.2	2.2
J	0.0	26.4	3.6	30.0	29.1	19.1	18.5	4.7	0.0	0.0	0.0	4.7	4.5	38.5	37.3	30.5	0.7	76.4	2.3
A	5.2	23.7	3.0	26.8	26.0	19.1	18.5	2.7	0.0	0.0	0.1	2.8	2.7	22.5	21.8	0.5	0.0	65.4	1.9
S	157.2	20.5	2.4	22.9	22.2	21.5	20.9	5.2	0.0	0.0	2.6	7.8	7.5	48.7	47.3	5.2	0.1	75.9	2.3
O	171.0	19.6	2.1	21.7	21.0	19.1	18.5	9.0	9.3	0.0	2.5	20.8	20.2	70.8	68.6	24.6	0.6	76.2	2.3
N	348.3	22.5	2.8	25.3	24.6	18.4	17.8	10.0	33.8	0.0	6.0	49.8	48.3	73.4	71.2	80.1	1.9	73.4	2.2
D	240.3	32.0	4.9	36.9	35.8	21.4	20.7	10.1	28.3	0.0	4.1	42.5	41.2	85.5	83.0	151.3	3.6	85.5	2.5
1982	1917.6	274.1	34.7	308.8	299.6	235.0	228.0	95.7	152.1	0.0	31.9	279.7	271.4	782.9	759.7	826.5	19.8	918.9	27.3

Iv)Année: 1983

	Pluies	NAPPE						SOL								L-Marais			
		Bas	Haut	Total	Pond.	ETR	ETR pond.	Bas	Interm.	Ruiss.	Imp.	Total	Pond.	ETR	ETR pond.	Ruiss.	Pond.	ETR	ETR pond.
J	72.5	32.7	5.0	37.7	36.6	22.6	21.9	7.8	0.0	0.0	1.2	9.0	8.7	76.3	74.1	106.1	2.5	90.5	2.7
F	104.1	27.2	4.0	31.2	30.3	21.6	20.9	8.0	2.4	0.0	1.6	12.1	11.7	81.5	79.1	71.0	1.7	86.3	2.6
M	202.7	28.3	4.1	32.4	31.4	23.5	22.8	9.2	9.5	0.0	3.4	22.1	21.5	90.5	87.8	65.0	1.6	94.1	2.8
A	319.0	30.2	4.6	34.7	33.7	20.5	19.9	9.9	31.6	0.0	5.5	47.0	45.6	81.8	79.3	101.2	2.4	81.9	2.4
M	93.5	36.4	5.9	42.3	41.1	22.2	21.5	8.9	7.6	0.0	1.5	18.0	17.4	82.0	79.6	125.3	3.0	88.7	2.6
J	14.6	32.2	5.0	37.2	36.1	21.0	20.4	5.8	0.0	0.0	0.2	6.0	5.8	54.8	53.2	53.0	1.3	83.9	2.5
J	0.0	30.1	4.5	34.6	33.6	20.8	20.2	3.7	0.0	0.0	0.0	3.7	3.6	33.2	32.2	7.5	0.2	83.3	2.5
A	28.3	27.1	3.8	30.9	30.0	21.1	20.4	3.1	0.0	0.0	0.4	3.5	3.4	27.8	26.9	0.0	0.0	43.8	1.3
S	76.3	23.6	3.1	26.6	25.8	21.8	21.1	3.4	0.0	0.0	1.2	4.6	4.5	32.8	31.8	0.0	0.0	56.5	1.7
O	205.2	22.3	2.7	25.0	24.2	21.5	20.9	8.6	5.6	0.0	3.4	17.5	17.0	77.1	74.8	20.5	0.5	86.0	2.6
N	150.0	21.7	2.7	24.4	23.6	21.2	20.6	9.2	5.3	0.0	2.3	16.7	16.2	84.5	82.0	41.3	1.0	84.8	2.5
D	208.7	22.7	2.8	25.5	24.7	20.3	19.7	9.8	14.9	0.0	3.3	28.0	27.2	81.1	78.7	56.8	1.4	81.1	2.4
1983	1474.7	334.5	48.1	382.6	371.2	258.0	250.4	87.3	76.9	0.0	24.0	188.2	182.6	803.5	779.6	647.7	15.5	960.9	28.5

*Pondération sur le carreau entier no 68: Nappe et Sol = 97.03%; Lacs-Marais = 2.97%

ANNEXE F

Valeurs des écoulements cumulés les réservoirs Nappe, Sol et Lacs-Marais.

Bassin versant de Rwegura
Écoulements cumulés (en mm d'eau)

1980

	Écoulements					Écoulements cumulés			
	Pluies	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux
J	157.6	23.5	19.1	0.2	42.8	23.5	19.1	0.2	42.8
F	143.7	22.5	15.0	0.7	38.1	46.0	34.1	0.9	80.9
M	176.0	25.0	24.4	1.3	50.7	71.0	58.5	2.1	131.6
A	141.2	26.4	20.4	1.7	48.6	97.4	78.9	3.8	180.2
M	153.0	26.8	17.4	1.5	45.7	124.2	96.3	5.4	225.9
J	70.1	26.6	17.1	1.4	45.1	150.8	113.4	6.8	271.0
J	0.0	24.7	4.6	0.2	29.5	175.5	118.0	7.0	300.4
A	9.4	21.7	2.8	0.0	24.5	197.2	120.8	7.0	325.0
S	75.1	18.3	4.1	0.0	22.4	215.5	124.8	7.0	347.3
O	174.7	16.3	11.4	0.2	27.9	231.7	136.3	7.2	375.2
N	182.7	16.6	24.7	1.1	42.4	248.3	161.0	8.2	417.6
D	132.6	19.3	17.0	1.4	37.7	267.6	178.0	9.7	455.2
1980	1416.0	267.6	178.0	9.7	455.2				

1981

	Écoulements					Écoulements cumulés			
	Pluies	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux
J	157.9	20.9	19.7	1.6	42.2	20.9	19.7	1.6	42.2
F	64.1	17.7	8.3	1.0	26.9	38.5	28.0	2.6	69.1
M	186.6	18.0	20.7	1.1	39.7	56.5	48.7	3.7	108.8
A	224.1	21.6	32.5	2.0	56.0	78.1	81.1	5.6	164.9
M	180.7	26.9	26.6	2.5	56.1	105.0	107.8	8.2	220.9
J	4.4	25.2	6.6	1.3	33.1	130.2	114.4	9.5	254.0
J	0.0	23.1	4.0	0.2	27.3	153.3	118.4	9.7	281.3
A	117.0	20.2	6.8	0.1	27.1	173.5	125.1	9.8	308.4
S	100.3	17.6	11.3	0.5	29.3	191.1	136.4	10.3	337.7
O	140.7	16.0	12.7	0.2	28.9	207.1	149.1	10.5	366.7
N	134.3	14.8	16.1	0.7	31.6	221.9	165.2	11.1	398.3
D	166.0	16.5	20.8	1.2	38.5	238.5	186.0	12.3	436.8
1981	1476.2	238.5	186.0	12.3	436.8				

1982

	- Écoulements					Écoulements cumulés			
	Pluies	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux
J	165.9	18.0	21.7	1.5	41.2	18.0	21.7	1.5	41.2
F	70.1	17.0	10.8	1.3	29.1	34.9	32.5	2.9	70.3
M	207.4	17.3	20.4	1.1	38.9	52.2	52.9	4.0	109.2
A	343.8	24.7	57.2	3.0	84.9	76.9	110.2	6.9	194.1
M	168.8	33.3	27.5	3.6	64.3	110.2	137.6	10.6	258.4
J	39.7	31.5	10.1	2.3	43.9	141.7	147.8	12.8	302.3
J	0.0	29.3	4.6	0.7	34.6	171.0	152.3	13.6	336.9
A	5.2	26.1	2.7	0.0	28.9	197.1	155.1	13.6	365.8
S	157.2	22.4	7.6	0.1	30.1	219.5	162.6	13.7	395.8
O	171.0	21.1	20.3	0.6	42.0	240.6	182.9	14.3	437.9
N	348.3	24.7	48.6	1.9	75.2	265.4	231.5	16.2	513.1
D	240.3	36.0	41.5	3.6	81.1	301.4	273.0	19.8	594.2
1982	1917.6	301.4	273.0	19.8	594.2				

1983

	Écoulements					Écoulements cumulés			
	Pluies	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux	Nappe	Sol	L_Marais	Totaux
J	72.45	36.8	8.8	2.5	48.2	36.8	8.8	2.5	48.2
F	104.05	30.5	11.8	1.7	44.0	67.3	20.6	4.3	92.1
M	202.66	31.6	21.6	1.6	54.7	98.9	42.1	5.8	146.9
A	318.98	33.9	45.8	2.4	82.2	132.8	88.0	8.2	229.0
M	93.48	41.3	17.5	3.0	61.9	174.1	105.5	11.2	290.9
J	14.59	36.3	5.9	1.3	43.5	210.4	111.4	12.5	334.3
J	0	33.8	3.6	0.2	37.6	244.2	115.0	12.7	371.9
A	28.28	30.2	3.4	0.0	33.6	274.4	118.4	12.7	405.5
S	76.27	26.0	4.5	0.0	30.5	300.4	122.9	12.7	436.0
O	205.17	24.4	17.1	0.5	42.0	324.8	140.0	13.2	478.0
N	150.03	23.8	16.3	1.0	41.1	348.6	156.3	14.2	519.1
D	208.7	24.9	27.3	1.4	53.5	373.4	183.6	15.5	572.6
1983	1474.7	373.4	183.6	15.5	572.6				